



Efeito das características hidrológicas do solo e da época de sementeira no rendimento de duas variedades de Milho (*Zea mays* L.)

João Ah Hing Shenga

Mestrado em Engenharia Agronómica

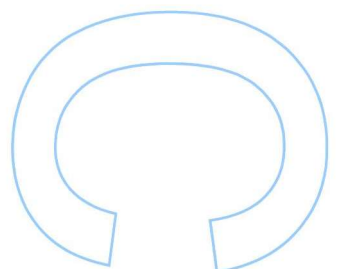
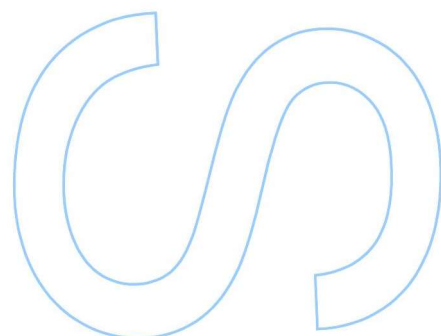
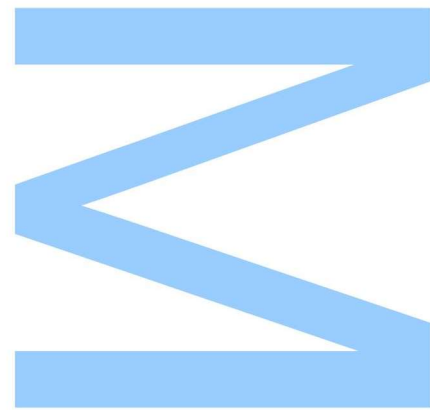
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2019

Orientador

Maria Eugénia dos Santos Nunes, Professora Doutora, Faculdade de Ciência

Coorientador

Jorge Espinha, Professor Doutor, Faculdade de Ciências

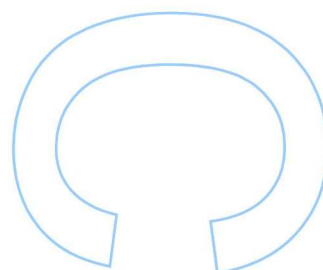
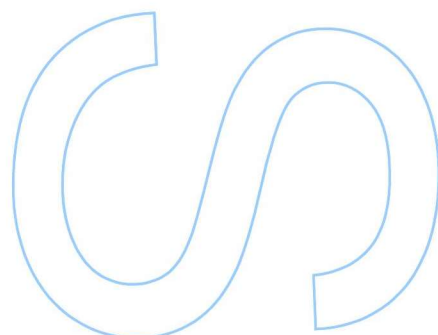
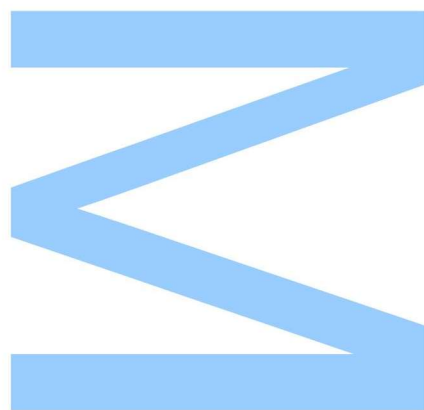




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Agradeço a todos os que me ajudaram a concluir este trabalho e a finalizar uma etapa importante da minha vida.

Agradeço à minha família pelo seu apoio.

Agradeço a minha Orientadora Prof^a. Doutora Maria Eugénia dos Santos Nune, pela oportunidade que me foi dada, pela orientação e disponibilização de conhecimentos científicos nas áreas de Produção Cereais, Proteaginosas, Oleaginosas, e Melhoramento Genético que favoreceu na escolha do tema da minha tese.

Agradeço o Meu coorientador Prof. Doutor Jorge Espinha, pela oportunidade que me foi dada, pelo conhecimento científico e aprendizagem na área de ciências dos solos.

Agradeço a Prof. Doutora Susana Carvalho por ter disponibilizado os dados meteorológicos e a Mestre Mailing Wang por os ter enviado mensalmente, pela ajuda prestada durante a secagem das amostras na estufa de vairão e pela sua simpatia.

À D. Fernanda, por toda ajuda, fornecida prestada no campo e pela sua simpatia.

Aos meus colegas Ângelo Gomes, Martim Santos, Martim Freitas e Pedro Macedo, pela ajuda que sempre me deram.

A todos, o meu muito obrigado.

Resumo

Vários autores previram mudanças climáticas em muitas regiões do mundo, e principalmente em África, as quais poderão afetar negativamente a agricultura, como é o caso do efeito da temperatura, precipitação e concentração em CO₂ que condicionarão as atividades fisiológicas e o desenvolvimento das culturas. O solo é considerado como um dos principais factores de produção, podendo a preparação do solo e a rega influenciar na alteração das propriedades físicas e comprometer o desenvolvimento das plantas. Este trabalho dedicou-se em estudar o efeito das características hidrológicas do solo e da época de sementeira no rendimento de duas variedades de Milho Moçambicano (*Zea mays*, L.). O estudo foi delineado em split-plot com três repetições, onde as duas variedades de Milho (Matuba e ZM523) foram semeadas em quatro épocas de sementeira (2 de abril, 16 de abril, 15 de maio e 28 de maio de 2019), tendo sido extraídas amostras de solo e efetuadas leituras da infiltração da água no solo, em 3 momentos de ensaios (antes e depois da mobilização do solo e na fase de floração). Os valores do índice de colheita (IC) e rendimento da cultura (RC) foram significativamente ($p < 0,05$) afetados pela Época de Sementeira (ES). Os valores médios de IC das plantas que foram semeados no início de abril (ES1=28±3%) e fim de maio (ES4=27±3%) não se diferiram entre si, e obtiveram valores inferiores em relação as plantas semeadas em meados de abril (ES2=31±3%) e maio (ES3=33±6%). O rendimento foi inferior no milho semeado no início de abril (ES1=19±5t/ha) em relação ao milho semeado a partir de meados de abril (ES2=26±3t/ha, ES3=24±3t/ha e ES4=28±5 t/ha). Às Épocas de Sementeira afetaram significativamente ($p < 0,05$) os valores da Condutividade Hidráulica (K) e da Porosidade Total (α), os Momentos de Ensaios afetaram significativamente ($p < 0,05$) os valores da Densidade Aparente (ρ_b), da Condutividade Hidráulica (K) e da Porosidade Total (α). Existe uma correlação negativa entre o ρ_b e o α e o K do solo, pois quando o ρ_b diminuiu na mobilização do solo e aumentou na fase da floração do milho, o α e o K aumentaram na mobilização e diminuíram na fase da floração do milho, sugerindo que, a diminuição do valor de ρ_b do solo pela mobilização, se obtém melhorias na porosidade e condutividade hidráulica deste solo. O α do solo afetou significativamente ($p < 0,05$) o RC do milho, sendo que o milho semeado no início de abril (ES1) obteve baixo RC em relação ao milho semeado a partir de meados de abril (ES2; ES3 e ES4), por obter menor valor médio ($p < 0,05$) de α do solo (ES1=54,4±6,6%) em relação às outras épocas de sementeira (ES2=61,1±3,1%; ES3=60,8±4,0% e ES4=61,1±2,7%).

Palavras chaves: *Zea mays*, épocas, sementeira, propriedades, físicas, solo, rendimento.

Abstract

Several authors have predicted climate change in many regions of the world, and especially in Africa, such changes will negatively affect agriculture, such as the effect of temperature, precipitation, and concentration on CO₂ which will conditioned physiological activities and crop development. Soil is considered one of the main factors of production, agricultural management, as is the case of soil preparation and irrigation can influence changes in physique properties and compromise plant development. This work was dedicated to the study of the effect of soil hydrological characteristics and sowing time with two varieties of maize (*Zea mays*, L.). The study used mixed design (split plot) with three replications, where two maize varieties (Matuba and ZM523) were sown in four sowing seasons (April 2, April 16, May 15 and May 28, 2019), Soil samples were extracted and water infiltration readings were taken from the soil at 3 test times (before and after the soil mobilization and flowering phase). Harvest Index (HI) values and Crop Yield (CY) were significant affected ($p < 0,05$) by Sowing Season (SS). The mean of HI of plants sown at the beginning of April (SS1=28±3%) and at the end of May (SS4=27±3%) did not differ from each other, and obtained lower values compared to plants sown in mid-April (SS2 = 31±3%) and mid-May (SS3=33±6%). Crop Yield was lower in maize sown in early April (SS1 = 19 ± 5t / ha) than in maize sown from mid-April (SS2=26±3t/ha, SS3=24±3t/ha and SS4=28±5t/ha). Sowing Seasons significantly affected ($p < 0,05$) Hydraulic Conductivity (K) and Total Porosity (α) values, Test Moments significantly affected ($p < 0,05$) Soil Bulk Density (ρ_b), Hydraulic Conductivity (K) and Total Porosity (α) values. There is a negative correlation between soil ρ_b and other parameters of soil physical property (α and K), because while the average of ρ_b decreased in soil mobilization and increased in the flowering phase of maize, the averages of K and α increased in the mobilization and decreased in the flowering phase of the maize, suggesting that, the decrease of the soil bulk density by the mobilization, improves the soil porosity and soil hydraulic conductivity. Soil α significantly affected maize yield ($p < 0.05$) therefore, maize sown at the beginning of April (ES1) had a lower yield than maize sown at mid-April (ES2; ES3 and ES4), because it obtained a lower ($p < 0,05$) average value of soil α (ES1 = 54,4 ± 6,6%) than in other sowing dates (ES2=61,1±3,1%; ES3=60,8±4,0% and ES4=61,1±2,7%).

Key words: *Zea mays*, seasons, sowing, properties, physical, soil, yield.

Sumário

Conteúdo	Pág.
Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Sumário	IV
Índice de Figuras	VII
Índice de Tabelas	VIII
Lista de acrónimos e símbolos	IX
1. Introdução	1
1.1. Objectivos	3
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1. A cultura do Milho	4
2.1.1. Botânica	4
2.1.2. Importância social e económica	4
2.1.3. Exigências climáticas e hídrica	5
2.1.4. Fases de desenvolvimento da cultura do milho	7
2.1.5. Identificação dos estádios de crescimento/desenvolvimento	7
2.1.6. Acumulação de matéria seca	8
2.2. Efeito da Data de sementeira no Milho	9
2.3. Propriedades Físicas do Solo	11
2.3.1. Densidade Aparente do solo	11
2.3.2. Condutividade Hidráulica do solo	12
3. Material e métodos	14
3.1. Determinação dos parâmetros produtivos	17
3.3.1. Proporção de espigas por peso total da planta e rendimento	18
3.2. Determinação dos parâmetros das propriedades físicas do solo	18
3.2.1. Porosidade total e densidade aparente do solo	18

3.2.2. Condutividade hidráulica.....	21
4. Resultados e Discussão.....	26
4.1. Parâmetros Morfológicos e Agronómicos.....	26
4.1.1. Efeito da época de sementeira.....	26
4.1.1.1. Período de floração.....	27
4.1.1.2. Ciclo do Milho.....	27
4.1.1.3. Altura das plantas de Milho.....	28
4.1.1.4. Altura da inserção das espigas.....	28
4.1.1.5. Peso Total da Planta.....	29
4.1.1.4. Número de Espigas por Planta.....	29
4.1.1.5. Peso de Espigas por planta.....	29
4.1.1.6. Índice de colheita.....	30
4.1.1.7. Rendimento da Cultura.....	30
4.1.2. Efeito da Variedade.....	31
4.1.2.1. Peso Total da Planta de Milho.....	31
4.1.2.2. Atura da planta.....	31
4.2. Parâmetros das Propriedades físicas do solo.....	34
4.2.1. Efeito da Época de Sementeira.....	34
4.2.1.1. Condutividade Hidráulica.....	34
4.2.1.2. Porosidade Total do Solo.....	35
4.2.2. Efeito do Momento de Ensaio.....	36
4.2.2.1. Condutividade Hidráulica.....	36
4.2.2.2. Porosidade Total do Solo.....	37
4.2.2.3. Densidade Aparente do Solo.....	38
4.2.3. Efeitos da interacção entre ES e ME.....	39
4.2.3.1. Porosidade Total do Solo.....	39
4.2.3.2. Densidade Aparente do Solo.....	40
5. Conclusão.....	43
6. Referencias Bibliográficas.....	45

7.	Apêndice.....	53
7.2.	Ficha para registo do crescimento e desenvolvimento das plantas	53
7.3.	Ficha para determinação de índice de colheita e rendimento.....	54
8.	Anexos.....	55
	Anexo A: Pedido de importação de sementes agrícolas (sementes Moçambicanas).....	55

Índice de Figuras

Figura 1. Acumulação de matéria seca nas diferentes partes da planta ao longo do ciclo.	8
Figura 2. Valores médios de Temperatura e Humidade relativa registadas de março a setembro de 2019, na área onde decorreu este estudo.	14
Figura 3. Delineamento experimental do ensaio de milho.	15
Figura 4. Dimensões das parcelas principais.	15
Figura 5. Fases de desenvolvimento da cultura do milho desde a emergência até à maturidade fisiológica.	16
Figura 6. Espigas colhidas na fase reprodutiva R3, em cada Época de Sementeira.	17
Figura 7. Pesagem das plantas de milho no momento da colheita.	17
Figura 8. Momentos de extração das amostras do solo.	19
Figura 9. Processo de extração das amostras.	19
Figura 10. Processo de preparação, saturação, secagem e pesagem das amostras.	20
Figura 11. Preparação do infiltrómetro de minidisco para o ensaio.	22
Figura 12. Procedimentos das leituras dos volumes de infiltração de água no solo.	22
Figura 13. Exemplo do cálculo da condutividade hidráulica na macro.	24
Figura 14. Comparação dos valores médios da variável K nas épocas de sementeiras.	35
Figura 15. Comparação dos valores médios da variável α nas ES.	36
Figura 16. Comparação dos valores médios da variável K nos Momentos de Ensaio.	37
Figura 17. Comparação dos valores médios da variável Porosidade Total do solo (α) nos Momentos de Ensaio.	38
Figura 18. Comparação dos valores médios da variável p_b nos Momentos de Ensaio.	39
Figura 19. Efeito da interação entre a variável ES e ME para valores de α	40
Figura 20. Efeito da interação entre a variável ES e ME para valores de p_b	41

Índice de Tabelas

Tabela 1. Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho.....	7
Tabela 2. parâmetros de Van Genuchten para 12 classes de textura do solo e valores “A” para um raio de disco de 2,25 cm e valores de sucção de 0,5 a 6 cm.	24
Tabela 3. Temperaturas médias, mínimas e máximas durante as datas de sementeira, floração e colheita de milho.	26
Tabela 4. Ciclo da cultura desde sementeira até a época da colheita e DAS até a floração do milho.	26
Tabela 5. Comparação entre as Épocas de Sementeira (ES) e os valores médios de dias da floração.....	27
Tabela 6. Comparação entre as Épocas de Sementeira (ES) e os valores médios do ciclo de milho (CM).	27
Tabela 7. Comparação entre as Épocas de Sementeira (ES) e os valores médios da Altura das Plantas (AP).	28
Tabela 8. Comparação dos valores médios da variável AIE nas épocas de sementeiras.	28
Tabela 9. Comparação dos valores médios da variável Peso Total das Plantas (PTP).	29
Tabela 10. Comparação dos valores médios da variável Número de Espigas por planta (NE).	29
Tabela 11. Comparação dos valores médios da variável Peso de Espigas por planta (PE).	30
Tabela 12. Comparação dos valores médios da variável Índice de Colheita (IC).	30
Tabela 13. comparação dos valores médios da variável Rendimento de Milho.....	31
Tabela 14. Comparação dos valores médios da variável Peso Total das Plantas (PTP).	31
Tabela 15. Comparação dos valores médios da variável Altura da Planta (AP).	32
Tabela 16. Datas de sementeira e de colheita de amostras de solo.	34

Lista de acrónimos e símbolos

AIE – Altura de inserção da espiga na planta;

AP – Altura de crescimento das plantas;

cm – centímetros;

Csb – classificação climática de Köppen-Geiger referente à climas de verão fresco (Mediterrânicos).

ES1 – Época de Sementeira um;

ES2 – Época de Sementeira dois;

ES3 – Época de Sementeira Três;

ES4 – Época de Sementeira quatro;

HMm – humidade média mínima;

HMM – humidade média máxima;

IC – Índice de Colheita;

K – Condutividade hidráulica;

Kg – Quilogramas;

mA – mínimo absoluto;

MA – máximo absoluto;

MA – máximo absoluto;

mA – mínimo absoluto.

mc – massa do cilindro para amostras de núcleo vazio, e o Vc volume do suporte da amostra principal em (cm³);

md – (massa do solo seco) é a massa da amostra do núcleo seca a 110°C menos a massa do suporte da amostra do núcleo;

Md – massa de amostra após a secagem menos a massa do suporte da amostra;

ME1 – Momento de ensaio um (antes da mobilização do solo);

ME2 – Momento de ensaio dois (depois da mobilização do solo);

ME3 – Momento de ensaio três (fase da floração do milho);

MM – média mensal;

MM – média mensal;

ms – (massa do solo saturado) é a massa da amostra do núcleo saturado a 48 horas menos a massa do suporte da amostra do núcleo;

ms – massa do suporte para amostras de núcleo vazio;

mt – massa do suporte da amostra mais amostra do solo seca a 110°C em gramas;

mw – (massa de água) é a subtração da massa do solo saturada menos a massa do solo seco;

NE – número das espigas;

PE – Peso das espigas;

PTP – Peso Total das Plantas;

RC – Rendimento da cultura de Milho;

Rep1 – Repetição um;

Rep2 – Repetição dois;

Rep3 – Repetição três;

TMM – temperatura média máxima;

TMm – temperatura média mínima;

V-1 – Variedade de Milho um (Matuba);

V-2 – Variedade de Milho dois (ZM523);

V_c – volume do suporte da amostra principal em (cm³);

ρ_b – Densidade aparente do solo;

α – porosidade total do solo expresso em (%);

r₀ – raio do disco do infiltrómetro;

h₀ – a sucção na superfície do disco;

Y_{ijk} – resposta observada da variável na i-ésima da data de sementeira do j-ésima das variedades localizado no k-ésimo dos blocos;

μ – a média geral;

α_i – efeito da data de sementeira;

R_k – é o efeito da Repetição;

V_j – é o efeito das variedades;

(αV)_{ij} – é o efeito de interação entre a data da sementeira e as variedades de milho;

ε_{ijk} – é o erro experimental da subparcelas;

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie da família de *Poaceae* (Gramíneas), originou-se da América do Sul e Central (Oladejo e Adetunji, 2012). Artefactos arqueológicos e análise filogenética sugerem que a domesticação tenha ocorrido há pelo menos 6000 anos (Piperno e Flannery, 2001) e espalhou-se pelo mundo após a descoberta das Américas pelos Europeus no século XV, principalmente nas zonas temperadas (Farnham *et al.*, 2003). Foi introduzido na costa africana durante o século XVII inicialmente pelos portugueses para fornecer seus fortes comerciais, mas a colheita foi rapidamente adotada pelos agricultores africanos devido ao seu alto rendimento energético, à sua baixa demanda de mão-de-obra e à sua curta estação de crescimento (Cherniwchan & Moreno-Cruz, 2019).

O cultivo do milho é essencial para a humanidade, pois é uma fonte importante de carboidratos, necessária para a obtenção de energia metabólica (Morales-Ruiz *et al.*, 2016), a produção de milho em um hectare tem um conteúdo energético semelhante a um hectare de mandioca ou batata-doce, isso sugere que o milho é a mais produtiva das culturas introduzidas na África e se expandiu rapidamente porque tinha o maior potencial para criar um choque de produtividade agrícola (Cherniwchan e Moreno-Cruz, 2019).

Em Moçambique a cultura do milho tem um papel importante a nível económico e social, porque constitui a componente básica da dieta Moçambicana (Segurança Alimentar e Nutricional), principalmente na camada mais pobre da população, sendo cultivada em cerca de 80% das explorações onde se registam as maiores produções (TIA, 2002). No entanto, previsões indicam que em muitas regiões do mundo, e principalmente em África, a agricultura será afetada pelas mudanças climáticas, limitando a produção de alimentos e ameaçando a segurança alimentar (Wheeler e Braun, 2013; tai *et al.*, 2014; Calzadilla *et al.*, 2014).

Os países tropicais provavelmente sofrerão temperaturas mais altas e menos chuvas como resultado da mudança climática. Essas mudanças resultantes nas dotações regionais de água e na humidade do solo afetarão a produtividade das terras agrícolas, levando a mudanças na produção de alimentos e nos padrões de comércio internacional (Calzadilla *et al.*, 2014)

As mudanças climáticas afetarão a produtividade das culturas, no que diz respeito aos factores abióticos, destaca-se o efeito da temperatura, precipitação e concentração

em CO₂ que condicionarão as atividades fisiológicas e o desenvolvimento das culturas (Lobell e Gourdji, 2012), e quanto aos factores bióticos prevê-se uma alteração do padrão da incidência de pragas e doenças e da interação hospedeiro-praga ou haptogéneo (Juroszek e Tiedemann, 2013).

Battisti e Naylor, (2009) mostram que, até o final do século 21, é provável que as temperaturas médias da estação de crescimento se igualem aos extremos atuais nas áreas temperadas e excedam-nas nos trópicos e subtópicos, resultando em grandes impactos na produção de alimentos. Isto irá afetar o crescimento das culturas quer de forma positiva ou negativa através de múltiplos mecanismos, incluindo mudanças na fenologia, estresse térmico, estresse hídrico, encharcamento e aumento ou redução de pragas e doenças (Challinor *et al.*, 2009; Bender e Weigel, 2011; Chakraborty e Newton, 2011). A actividade económica de Moçambique é essencialmente agrária, com base na agricultura de subsistência com baixos níveis de produção e de produtividade (PEDSA, 2011).

Antes de iniciar algum cultivo é importante conhecer os parâmetros físicos do solo da área que será utilizada, uma vez que estes parâmetros são importantes para o bom desenvolvimento das culturas. Um solo com boas qualidades de cultivo deve apresentar boa porosidade e baixa resistência à penetração, onde garante a aeração e acúmulo de água no solo (Carvalho *et al.*, 2018). O preparo do solo é uma prática comum que visa diminuir a densidade aparente do solo e melhorar as condições do solo, bem como o controle de plantas daninhas (Strudley *et al.*, 2008), assim a diminuição da densidade aparente do solo causado pelo preparo do solo poderá aumentar a capacidade de infiltração deste solo (Kribaa *et al.*, 2001). A baixa densidade aparente do solo está associado a melhores condições para o crescimento das plantas (Klute, 1982; Kool, *et al.*, 2019), sendo que maior porosidade pode aumentar a condutividade hidráulica, a infiltração e a retenção de água no solo (Kribaa *et al.*, 2001), além de reduzir a erosão e escoamento (Mohammadshirazi *et al.*, 2016). As propriedades hidráulicas do solo variaram fortemente, dependendo do tempo desde a lavoura e a profundidade do solo (Kool, *et al.*, 2019). A estrutura do solo e a densidade aparente também afetam as trocas de energia e gás na interface da superfície do solo (Schwartz *et al.*, 2010), assim como a produção de CO₂ no solo (Han *et al.*, 2014).

A lavoura é uma parte integrante das práticas agrícolas arvenses - induz mudanças na estrutura do solo que podem ser benéficas ou prejudiciais às propriedades físicas do solo e ao crescimento das culturas. A fragmentação do solo e a resistência dos agregados do solo diferem entre os diferentes tratamentos de compactação e datas de sementeira (Obour *et al.*, 2018).

As características das propriedades físicas do solo dependem do tipo de solo, práticas de gradagem, profundidade da raiz, condições da sementeira, sistemas de cultivo e características climáticas (Chang e Lindwall, 1992).

A data de sementeira é referida como o factor de importância central para uma simulação precisa do crescimento das culturas e da produtividade agrícola, uma vez que a resposta do rendimento à data de sementeira, flutua amplamente entre os ambientes (Sacks *et al.*, 2010; Waongo *et al.*, 2014; Bondeau *et al.*, 2017).

Na agricultura de sequeiro é comum registar datas de sementeiras baseadas na frequência de precipitação local. Como não se toma em consideração as características específicas da cultura nem o tipo de clima, nomeadamente a temperatura e as necessidades de água da cultura, esta prática não é apropriada para as condições de produção do pequeno agricultor, havendo implicações na resposta ao desenvolvimento e produtividade das plantas (Waha *et al.*, 2012; Bondeau *et al.*, 2017).

1.1. Objectivos

A presente dissertação tem como objetivo principal fazer uma avaliação do efeito das características hidrológicas do solo e da época de sementeira no rendimento de duas variedades de Milho (*Zea mays*, L.).

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A cultura do Milho

2.1.1. Botânica

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie da família de *Poaceae* (Gramíneas), originou-se da América do Sul e Central (Oladejo e Adetunji, 2012). Artefactos arqueológicos e análise filogenética sugerem que a domesticação tenha ocorrido há pelo menos 6000 anos (Piperno e Flannery, 2001) e espalhou-se pelo mundo após a descoberta das Américas pelos Europeus no século XV, principalmente nas zonas temperadas (Farnham *et al.*, 2003). Foi introduzido na costa africana durante o século XVII inicialmente pelos portugueses para fornecer seus fortes comerciais, mas a colheita foi rapidamente adotada pelos agricultores africanos devido ao seu alto rendimento energético, à sua baixa demanda de mão-de-obra e à sua curta estação de crescimento (Cherniwchan e Moreno-Cruz, 2019).

O facto de ser uma planta de fecundação cruzada, apresenta uma elevada heterozigosidade e elevada capacidade de adaptação ambiental, permitindo uma evolução mais rápida que os cereais autogâmicos, como são casos de trigo e o arroz (Farnham *et al.*, 2003). O fruto é uma cariopse indeiscente e pode ser dividida em três partes: o endosperma, o pericarpo e o embrião (Abendroth *et al.*, 2011).

O sistema radicular é fasciculado com raízes que podem atingir os 120 cm, para além das raízes adventícias que conferem resistência à acama e aumentam o volume de absorção da planta (Magalhães e Durães, 2006). A inflorescência masculina é uma panícula e tem a designação comum de pendão. Após a emergência e expansão total das folhas e pendão cessa o crescimento dos entrenós. Nesta fase os estiletes da inflorescência feminina (espiga de espiguetas unifloras) encontram-se em crescimento até à ocorrência da fecundação (Ritchie e Hanway, 1971).

2.1.2. Importância social e económica

O milho (*Zea mays* L.) tem inúmeras utilizações, seja em silagem, alimento composto para animais, indústria alimentar (amidos, griz e farinhas) como também produção de energias renováveis (bioetanol e biogás) e materiais biodegradáveis (bioplásticos e fibras). A cultura é cultivada desde os povos possuidores de alta tecnologia até aos países com níveis de autossustentabilidade, sendo classificada como

uma das culturas mais produtivas com um rendimento global médio de quatro toneladas por hectare (Farnham *et al.*, 2003). A produção mundial atual é de cerca de 1,134 milhões de toneladas de grãos de cerca de 197 milhões de hectare (FAOSTAT, 2017), sendo uma das culturas de cereais mais versáteis, cultivadas em mais de 160 países, contribuindo com 782 milhões de toneladas (Mt), ou seja, 36% da produção global de alimentos (FAO, 2010). Quase 70% da produção global de milho está no mundo em desenvolvimento.

O cultivo do milho é essencial para a humanidade, pois é uma fonte importante de carboidratos, necessária para a obtenção de energia metabólica (Morales-Ruiz *et al.*, 2016), a produção de milho em um hectare tem um conteúdo energético semelhante a um hectare de mandioca ou batata-doce, isso sugere que o milho é a mais produtiva das culturas introduzidas na África e se expandiu rapidamente porque tinha o maior potencial para criar um choque de produtividade agrícola (Cherniwchan e Moreno-Cruz, 2019).

2.1.3. Exigências climáticas e hídrica

A cultura é cultivada em climas que variam de temperado a tropical durante o período em que as temperaturas médias diárias estão acima de 15°C e sem geadas. A adaptabilidade de variedades em diferentes climas varia muito. O cultivo bem-sucedido depende acentuadamente da escolha correta das variedades, de modo que a duração do período de crescimento da cultura coincida com a duração da estação de cultivo e com a finalidade para o qual a cultura será cultivada (Cruz *et al.*, 2006; FAO, 2018).

A temperatura ideal para o desenvolvimento da cultura de milho, da emergência até a floração, situa-se entre 24 a 30°C (Cruz *et al.*, 2006), maior produção de matéria seca e maior rendimento de grãos é alcançado em temperaturas entre 18 - 21°C (Muchow *et al.*, 1990; Cruz *et al.*, 2006), a queda do rendimento sob temperaturas elevadas se deve ao curto período de tempo de enchimento de grãos, em virtude da diminuição do ciclo da planta (Cruz *et al.*, 2006). O estresse térmico ($\geq 38^{\circ}\text{C}$) durante o período em torno do aparecimento dos estigmas leva a uma alta redução de rendimento (Cicchino *et al.*, 2010b), afetando a capacidade “*Source and Sink*” da planta. A capacidade “*Source*” é diretamente afetada por uma síntese reduzida de carboidratos (Barnabás *et al.*, 2008), causada por diminuição da fotossíntese e aumento das taxas de respiração (Rattalino-Edreira e Otegui, 2012; Wahid *et al.*, 2007; Ordóñez *et al.*, 2015).

Para a germinação do milho, a temperatura média diária mais baixa é de cerca de 10°C, sendo que o ideal varia de 25 a 30°C (Silva-Neta *et al.*, 2015), os melhores

desempenhos são verificados na temperatura igual a 25°C (Silva-Neta *et al.*, 2015; Dos Santos *et al.*, 2019). Temperaturas abaixo e acima do valor ótimo retardam o processo de germinação, tornando as sementes menos vigorosas e consequentemente, sofrem maior estresse do meio ambiente. A probabilidade de ser atacado por microrganismos do solo sob condições de estresse aumenta, levando a uma redução na emergência e no estande final da cultura (Silva Neta *et al.*, 2015).

A cultura é muito sensível à geada, principalmente no estágio de plântulas (Magalhães e Durães, 2006), mas tolera condições atmosféricas quentes e secas, desde que haja disponível água suficiente para a planta e a temperaturas esteja abaixo de 38°C. O ciclo de uma cultivar de milho pode ser caracterizado em função do número de dias desde a sementeira até a maturidade fisiológica ou a colheita (Gadioli *et al.*, 2000). Durante a estação de crescimento quando as temperaturas médias diárias são superiores a 20°C, as variedades precoces de grãos demoram 80 a 110 dias e as variedades mediana demoram de 110 a 140 dias para amadurecer. Quando as temperaturas médias diárias estão abaixo de 20°C, há uma extensão em dias para a maturidade de 10 a 20 dias para cada queda de 0,5°C, dependendo da variedade, e a 1,5 °C a colheita de grãos de milho leva 200 a 300 dias para amadurecer (FAO, 2018).

O milho é um usuário eficiente da água em termos de produção total de matéria seca e entre os cereais, é potencialmente a colheita de grãos com maior rendimento. Para produção máxima, uma colheita de grãos de maturidade média requer entre 500 e 800 mm de água, dependendo do clima (Cruz *et al.*, 2006; FAO, 2018). Dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, quatro a oito dias diminuem em mais de 50%. O efeito da falta de água, associado à produção de grãos, é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta: a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nessa fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico; c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, desde que o estresse vai resultar na menor produção de carboidratos, o que implicaria menor volume de matéria seca nos grãos. Portanto, a importância da água está relacionada também com a fotossíntese, uma vez que o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas implica menor disponibilidade de CO₂ para fotossíntese limitação dos processos de alongação celular (Magalhães e Durães, 2006).

2.1.4. Fases de desenvolvimento da cultura do milho

Para um eficiente manejo de irrigação, de nutrientes e de outras práticas culturais é de fundamental importância o conhecimento das diferentes fases de crescimento do milho com suas diferentes demandas (Magalhães e Durães, 2006), compreender as principais fases de desenvolvimento e crescimento da planta do milho, assim como a duração do seu ciclo e as características da variedade são fatores fundamentais para uma boa gestão da cultura (De Carvalho, 2016).

2.1.5. Identificação dos estádios de crescimento/desenvolvimento

O ciclo da cultura de Milho pode ser dividido em duas fases: fase vegetativo (V) e reprodutivo (R), conforme mostra a Tabela 1. Subdivisões dos estádios vegetativos são designados numericamente como V1, V2, V3 até V(n); em que (n) representa o número de folhas com a bainha visível antes do pendoamento (Vt). O primeiro e o último estágio, os V são representados, respectivamente, por (VE, emergência) e (Vt, pendoamento) (Tab. 1 e Fig. 1) (Ritchie e Hanway, 1971; Magalhães e Durães, 2006). Dependendo das variedades a planta pode produzir cerca de 20 folhas, mas na altura da polinização apenas se verificam entre 13 e 16 folhas, as folhas mais velhas acabam por ser destruídas pelo engrossamento do caule e falta de luz na parte basal da planta (Abendroth *et al.*, 2011).

O R_n representa a fase reprodutiva onde “n” varia desde 1 que coincide com a polinização/fecundação até 6 que corresponde à maturidade fisiológica acompanhada pela formação do ponto negro. A maioria das plantas de milho segue o mesmo padrão de desenvolvimento, porém, o intervalo de tempo específico entre os estádios e o número total de folhas desenvolvidas pode variar entre híbridos, ano agrícola, data de sementeira e localização (Tab. 1) (Abendroth *et al.*, 2011).

Tabela 1. Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho.

Vegetativo	Reprodutivo
VE - emergência	R1 - Pendoamento
V1 - 1ª folha desenvolvida	R2 - Grão leitoso
V2 - 2ª folha desenvolvida	R3 - Grão pastoso
V3 - 3ª folha desenvolvida	R4 - Grão farináceo
V4 - 4ª folha desenvolvida	R5 - Grão farináceo - duro
V _(n) - nª folha desenvolvida	R6 - Maturação Fisiológica
VT - Pendoamento	

Fonte: Embrapa, Magalhães e Durães, (2006)

2.1.6. Acumulação de matéria seca

A taxa de crescimento e a quantidade de matéria seca acumulada durante a campanha é diferente nos vários componentes da planta, porém quando esses componentes são somados normalmente obtém-se uma curva de resposta em forma de "S" (Abendroth *et al.*, 2011) (Fig. 1).

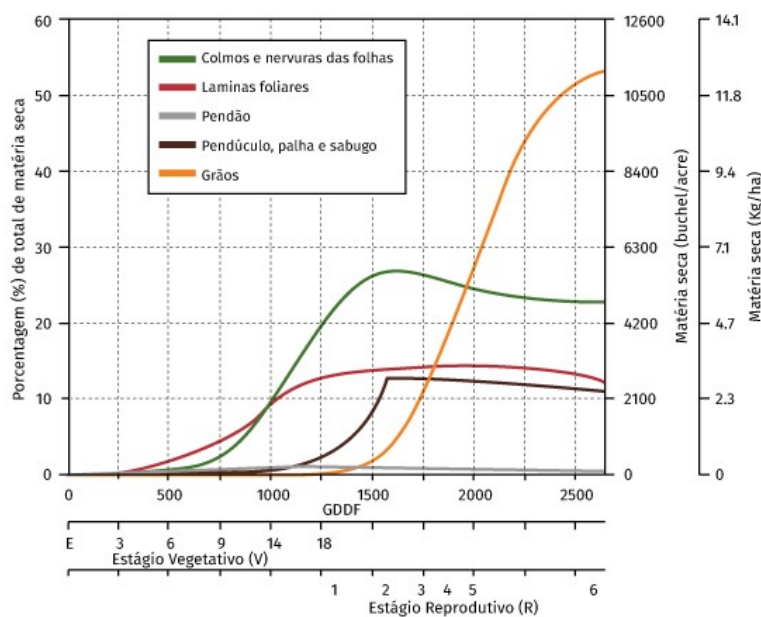


Figura 1. Acumulação de matéria seca nas diferentes partes da planta ao longo do ciclo.

Fonte: IOWA State University, Adaptado Por Abendroth *et al.*, (2011).

Na componente vegetativa as folhas e o caule representam a maior quantidade de matéria seca acumulada com um valor máximo atingido na fase **R2**, a partir desta fase verifica-se uma redução da matéria seca devido a uma translocação de nutrientes do caule para o grão e a uma forte capacidade "sink" das espigas e do desenvolvimento e enchimento dos grãos (Ritchie e Hanway, 1971). O índice de colheita é calculado a partir da divisão entre matéria seca do grão pela matéria seca total. Os híbridos modernos apresentam valores médios de índice de colheita de 0,5 (Abendroth *et al.*, 2011).

2.2. Efeito da Data de sementeira no Milho

A data de sementeira é referida como o factor de importância central para uma simulação precisa do crescimento das culturas e da produtividade agrícola, uma vez que a resposta do rendimento à data de sementeira, varia amplamente entre os ambientes (Sacks *et al.*, 2010; Waongo *et al.*, 2014; Bondeau *et al.*, 2017).

Na agricultura de sequeiro é comum registar datas de sementeiras baseadas na frequência de precipitação local, como não se toma em consideração as características específicas da cultura nem o tipo de clima, nomeadamente a temperatura e as necessidades de água da cultura, esta prática não é apropriada para as condições de produção do pequeno agricultor, havendo implicações na resposta ao desenvolvimento e produtividade das plantas (Waha *et al.*, 2012; Bondeau *et al.*, 2017).

A data de sementeira é uma ferramenta mais barata para melhorar o rendimento de grãos do milho. Cada variedade tem uma data ideal de sementeira e quanto maior é o desvio dessa data ótima (sementeira precoce ou tardia), maior serão as perdas dos rendimentos (Sárvári, 2000; Berzsenyi, 2001, Chhetri *et al.*, 2018). A determinação das épocas de sementeira para as variedades de milho é muito crucial para um melhor rendimento das culturas, por influenciar no comprimento e diâmetro da espiga, número de grãos por espiga, número de linhas por espiga e peso de grão (Ashik *et al.*, 2018). A produção de grãos de milho é afetada pelos genótipos e pela data de sementeira (Bahadur *et al.*, 2015; Ashik *et al.*, 2018). A escolha ideal da data de sementeira irá resultar em maior rendimento de grãos do que as datas de sementeira precoce e tardia (Zaki *et al.*, 1994; Otegui *et al.*, 1995; Jaliya *et al.*, 2008; Ashik *et al.* 2018).

A sementeira precoce ou a sementeira tardia podem resultar em menor produtividade porque existe a probabilidade de que condições climáticas desfavoráveis possam ocorrer após a sementeira ou durante a estação de crescimento. O atraso na sementeira de milho reduz o número de grãos (Cantarero *et al.*, 2000). A data de sementeira desempenha um papel importante na determinação do rendimento, qualidade, germinação das sementes e compreensão do estágio fenológico completo em muitas regiões (Chhetri *et al.*, 2018). A taxa de crescimento e desenvolvimento da planta depende da temperatura ao redor da planta e cada espécie tem uma faixa de temperatura específica representada por um mínimo, um máximo e um ótimo (Hatfield *et al.*, 2008; Hatfield *et al.*, 2011), a temperatura ideal para o desenvolvimento da cultura de milho, da emergência até a floração, situa-se entre 24 e 30°C (Cruz *et al.*, 2006), porém os rendimentos mais altos de grãos são determinados em épocas com temperaturas médias relativamente frias na fase de crescimento (18 a 21°C), em comparação com épocas de temperaturas mais quentes (22°C, 25°C, 26°C, a 30°C)

(Muchow *et al.*, 1990; Cruz *et al.*, 2006). Isto porque as temperaturas altas aceleram o desenvolvimento da planta, reduzindo a duração dos períodos de crescimento necessários para o tamanho ideal da planta e do grão. Este desenvolvimento fenológico mais rápido também altera o momento da demanda máxima de água da planta (Harrison *et al.*, 2011). A planta de milho precisa acumular quantidades distintas de energia ou simplesmente unidades calóricas necessárias a cada etapa de crescimento e desenvolvimento (Cruz *et al.*, 2006).

Sato *et al.*, (1997) reportaram que, durante o período de pré-aparecimento dos estigmas, as partes vegetativas, como folhas, raízes e colmo e órgãos reprodutivos, como espigas, iniciam e crescem simultaneamente. Suwa *et al.*, (2010) salientaram que, o crescimento simultâneo gera competição por fotoassimilados entre os órgãos e a competição é exagerada em condições de temperaturas altas. Os autores ainda reportaram que, o ambiente de alta temperatura pode atrapalhar o equilíbrio na distribuição de fotoassimilados entre os órgãos “*source-and-sink*”, devido à diferença nas respostas ao estresse no acúmulo de biomassa. A inibição do crescimento de um órgão pode redirecionar partições mais altas em favor de outro órgão. Portanto, a data de sementeira e a maturação híbrida são duas estratégias principais usadas em todo o mundo para adaptação e mitigação de culturas para gerenciar condições de crescimento desfavoráveis. As decisões de data de sementeira e maturidade híbrida definem o potencial de produtividade do milho em cada ambiente. Juntamente com o clima predominante, esses dois fatores controlam a duração da estação de crescimento em que a colheita acumula radiação que se correlaciona positivamente com a produção de grãos (Lindquist *et al.*, 2005). Existem diferentes recomendações ótimas das janelas de sementeira, dependendo da localização (Sindelar *et al.*, 2010; Abendroth *et al.*, 2017). Quando o milho é plantado antes ou depois dessa janela ideal, pode-se observar um declínio na produção (Zhou *et al.*, 2016).

O prazo ideal para o estabelecimento do milho geralmente se refere às condições climáticas médias e não se aplica todos os anos. A realidade é que a variabilidade climática ano a ano e as más condições do solo na primavera obrigam os agricultores a plantar frequentemente fora da janela ideal. A sementeira muito precoce aumenta a probabilidade de más condições de sementeira devido ao solo frio e húmido, resultando em um impacto negativo na emergência das plantas (Parker *et al.*, 2016). Por outro lado, a sementeira muito tardia está associada à redução na duração da estação de crescimento e ao acúmulo de radiação (Nielsen *et al.*, 2002). Portanto, a data de sementeira afeta grandemente a produção de grãos de milho, o tempo de aparecimento dos estigmas e a duração do enchimento de grãos (Baum *et al.*, 2019).

2.3. Propriedades Físicas do Solo

2.3.1. Densidade Aparente do solo

A densidade aparente do solo (ρ_b) é uma informação importante relacionada à disponibilidade de humidade do solo, condutividade hidráulica, crescimento das plantas e rendimento das culturas (Dam *et al.*, 2005). É calculado como a razão entre a massa seca do solo e seu volume total (Han *et al.*, 2016; Walter *et al.*, 2016). Os dados precisos de ρ_b do solo são considerados indicadores da porosidade do solo e do teor de humidade, pois dependem da textura e estrutura do solo (Casanova *et al.*, 2016; Moret-Fernández *et al.*, 2016; Han *et al.*, 2017; Lu *et al.*, 2017). Tais dados também fornecem informações valiosas sobre o estresse de compactação do solo (Lestariningsih e Hairiah, 2013) e podem ser usados para calcular a resistência à penetração do solo (Gão *et al.*, 2016; Hosseini *et al.*, 2016; da Silva *et al.*, 2016).

A porosidade do solo é fortemente influenciada pelo ρ_b do solo (Naghdi *et al.*, 2016). O conteúdo da matéria orgânica tem uma influência significativa sobre os valores da ρ_b do solo (Jalabert *et al.*, 2010; Ghehi *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2016; Yi *et al.*, 2016), visto que o ρ_b do solo tem uma relação positiva com a textura do solo, bem como matéria mineral e orgânica, mas apresenta uma relação negativa com o conteúdo de matéria orgânica e a porosidade (Ahad *et al.*, 2015).

O uso da terra e as tensões mecânicas afetam fortemente o ρ_b do solo, porque influenciam sua dinâmica e grau de compactação (Naderi-Boldaji e Keller, 2016). O aumento de ρ_b do solo resulta em compactação do solo devido as operações mecânicas antropogénicas, bem como processos naturais como chuva, crescimento e desenvolvimento das raízes de plantas, que podem reorganizar as partículas sólidas do solo (Al-Kaisi *et al.*, 2017; Busse *et al.*, 2017; Cambi *et al.*, 2017). Por outro lado, o aumento da cobertura vegetal pode resultar em diminuição de ρ_b do solo sobre várias técnicas de manejo do solo (Keesstra *et al.*, 2016). As plantas influenciam no ρ_b do solo porque a cobertura do solo afeta a frequência de perturbação do solo (Shete *et al.*, 2016).

A ρ_b do solo afeta significativamente a drenagem e a recuperação da terra e é um indicador das propriedades da drenagem e manejo da irrigação (Shiriet, 2017), os valores de ρ_b do solo são usados para calcular o teor volumétrico da humidade do solo, que é uma propriedade significativa usada para controlar os regimes de irrigação (Mohawesh *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2016). Também é um indicador das características físicas do solo que afetam o transporte de água e tem uma correlação significativa com

o conteúdo da humidade do solo (Yang *et al.*, 2016). Isso ocorre porque o ρ_b do solo afeta a capacidade de água do solo e a humidade disponível (Al-Shammary *et al.*, 2018).

O ρ_b do solo é considerado um fator-chave que é correlacionado com a compactação do solo e muitas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A compactação do solo é um grande problema agrícola devido ao seu efeito significativo na produtividade (Keesstra *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2016). A medição da densidade aparente do solo é importante para o cálculo das qualidades físicas do solo, porque muitos deles são afetados pelo ρ_b do solo, enquanto que os fatores climáticos e o uso agrícola têm efeitos significativos nas propriedades orgânicas do solo (Al-Shammary *et al.*, 2018).

2.3.2. Condutividade Hidráulica do solo

O conhecimento da condutividade hidráulica beneficia cientistas, lavradores e produtores, indicando a rapidez com que a água se infiltra quando aplicada a um determinado campo ou tipo de solo. A infiltração também é relevante no transporte de contaminantes, na recarga das águas subterrâneas e na sustentabilidade do ecossistema. A condutividade hidráulica do solo é a taxa na qual a água pode se mover através do solo sob certas condições e gradientes hidráulicos. O movimento da água através do solo geralmente ocorre em condições saturadas e insaturadas (Metergroup, 2018).

Como o infiltrómetro de minidisco é um infiltrómetro de tensão, ele mede a condutividade hidráulica não saturada do meio em que é colocado em diferentes tensões aplicadas. O fluxo através de um solo não saturado é mais complicado do que o fluxo através de espaços de poros continuamente saturados. Os macroporos geralmente se enchem de ar, deixando apenas os poros mais finos para acomodar o movimento da água. Portanto, a condutividade hidráulica do solo depende fortemente da geometria detalhada dos poros, do teor de água e das diferenças no potencial matricial. (Rose, 1966; Brady e Weil, 1999).

A condutividade hidráulica saturada ocorre quando todos os poros, incluindo os poros grandes (como rachaduras ou buracos de minhoca), são preenchidos. No entanto, o fluxo de macroporos é extremamente variável de um lugar para outro e, portanto, difícil de quantificar. A infiltração de água sob tensão impede o preenchimento dos macroporos e fornece uma condutividade hidráulica característica da matriz do solo, sendo menos variável em termos espaciais (Metergroup, 2018).

A condutividade hidráulica do solo não saturado é uma função do potencial da água e do teor de água do solo. A diminuição da condutividade à medida que o solo

seca se deve principalmente ao movimento do ar no solo para substituir a água. À medida que o ar entra, os caminhos para o fluxo de água entre as partículas do solo se tornam menores e mais tortuosos, e o fluxo se torna mais difícil (Metergroup, 2018).

A baixa densidade aparente do solo (ρ_b) é geralmente associada a melhores condições para o crescimento das plantas (Klute, 1982; Kool *et al.*, 2019), pois influencia a porosidade do solo (Naghdi *et al.*, 2016), a maior porosidade pode aumentar a condutividade hidráulica, a infiltração de água e a retenção de água no solo (Kribaa *et al.*, 2001; Kool *et al.*, 2019).

O preparo do solo é uma prática comum que visa diminuir ρ_b com intuito de melhorar as condições físicas do solo e também controlar as infestantes (Strudley *et al.*, 2008). Portanto, enquanto o preparo do solo aumenta a porosidade do solo, ele também altera a estrutura do solo, que resulta em um solo muito instável (Kribaa *et al.*, 2001; Or e Ghezzehei, 2002). As propriedades físicas do solo em solos recém-cultivados mudam dinamicamente com o tempo até que um novo estado mais estável seja alcançado (Meek *et al.*, 1992). A velocidade e o grau de mudança podem variar com a profundidade e dependem das propriedades físicas do solo, como textura e agregação (Van Es *et al.*, 1999), bem como a frequência, intensidade e quantidade acumulada de precipitação ou irrigação (Augeard *et al.*, 2008; Mubarak *et al.*, 2009). A redução resultante na porosidade afeta desproporcionalmente os macroporos (Kribaa *et al.*, 2001; Sandin *et al.*, 2017). Considerando as condições dinâmicas dos solos cultivados, não é surpresa que estudos que comparem diferentes sistemas de sementeira convencional e sementeira direto relatem resultados conflitantes sobre se a mobilização do solo melhora ou não a porosidade e as propriedades hidráulicas (Kribaa *et al.*, 2001; Strudley *et al.*, 2008). A mobilização do solo pode reduzir ρ_b , mas esse novo ρ_b baixo não é estável, pois a maior mudança em ρ_b ocorre nas primeiras semanas após a lavoura, pois o crescimento das raízes das plantas tem impacto nos valores de ρ_b e propriedades hidráulicas do solo (Mubarak *et al.*, 2009; Kool *et al.*, 2019).

3. Material e métodos

Os ensaios foram realizados na área experimental de Campus Agrário de Vairão de Universidade do Porto, localizado na freguesia de Fornelo e Vairão, (41°19'38.5" N, 8°40'33.3"W) no ano agrícola de 2018/2019. Segundo a classificação de Koppen, Vairão é caracterizado por apresentar clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente (Csb). A análise espacial baseada nas normas de 1961/90 refere que a temperatura média anual varia entre 14 e 15 °C e que a precipitação média anual varia entre 1200 e 1400 mm (IPMA, 2019). Os solos de Vairão são do tipo Cambissolos Húmicos (Monteiro, 2005).

No período da condução do estudo compreendido entre março e setembro de 2019, foram monitorizadas e registadas as médias, mínimas e máximas mensais das temperaturas e humidades relativa do ar, onde foram realizadas através do sensor de temperatura e humidade do ar (Sensohive Orbit-3 c/ Shield Solar), instalados no campus Agrário de Vairão. A Figura 2 apresenta uma combinação dos resultados da temperatura e humidade relativa do ar.

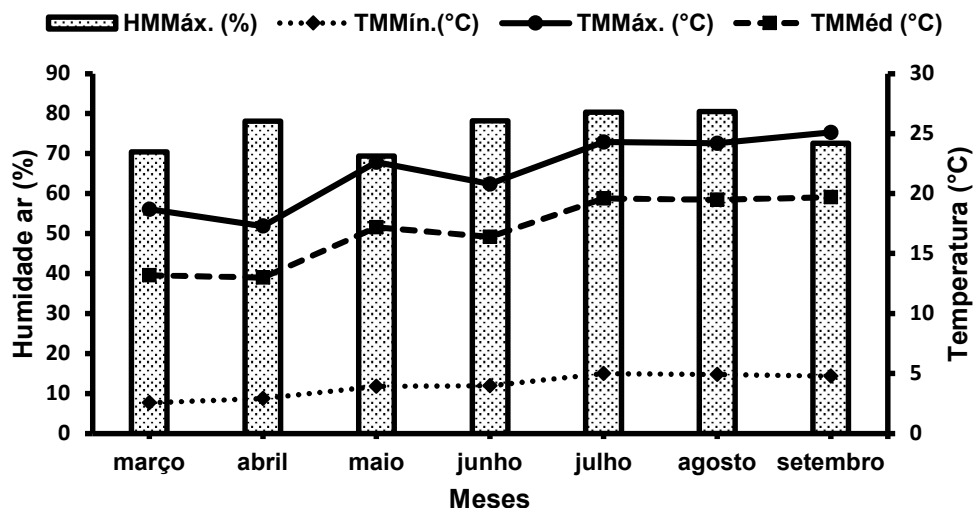


Figura 2. Valores médios de Temperatura e Humidade relativa registadas de março a setembro de 2019, na área onde decorreu este estudo.

HMMáx. humidade média máxima, TMMín. Temperatura média mínima, TMMáx. temperatura média máxima; TMMéd. Temperatura Média Mensal

O estudo foi delineado em *split-plot* com três repetições (Rep 1, Rep 2 e Rep 3) (Fig. 3), sendo a parcela principal constituída por quatro épocas de sementeira (ES1,

ES2, ES3 e ES4) e as subparcelas constituídas por duas variedades (V-1 e V-2). A Rep 1 e a Rep 3 foram colocadas nas extremidades do campo, sendo que a Rep1 foi colocada a cerca de 2 m da parede de uma estufa.

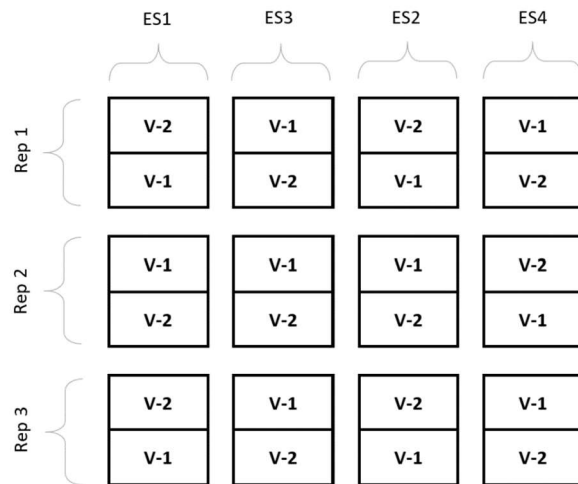


Figura 3. Delineamento experimental do ensaio de milho.

V-1: (Matuba) e V-2: (ZM523); ES1 (Época de Sementeira 1 02-04-2019); ES2 (Época de Sementeira 2 16-04-2019); ES3 (Época de Sementeira 3 15-05-2019); ES4 (Época de Sementeira 4 28-05-2019); Rep 1 (primeira repetição); Rep 2 (segunda repetição); Rep 3 (terceira repetição).

Cada unidade experimental era constituída por três linhas de dois metros de comprimento (Fig. 4) e por 10 plantas de milho na linha, correspondente a uma densidade de plantas de 7,14 plantas/m².

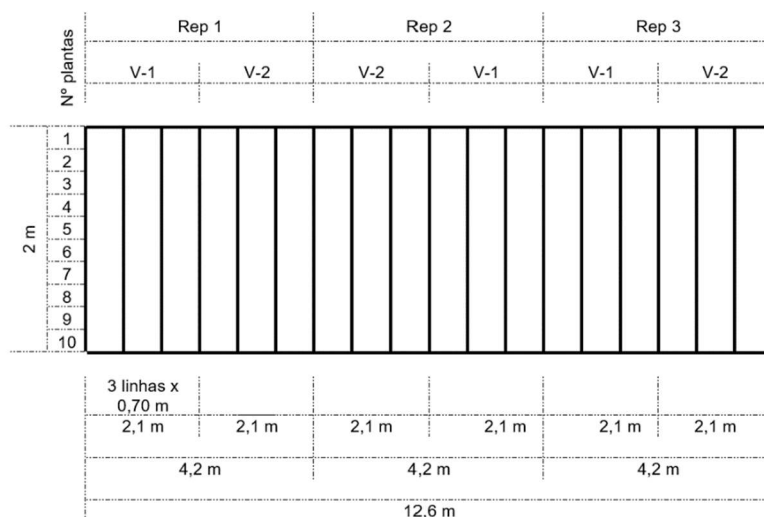


Figura 4. Dimensões das parcelas principais.

V-1: variedade um (Matuba), V-2: Variedade dois (ZM523), Rep 1: primeira repetição, Rep 2: segunda repetição e Rep 3: terceira repetição. V-1: variedade um (Matuba), V-2: Variedade dois (ZM523), Rep 1: primeira repetição, Rep 2: segunda repetição e Rep 3: terceira repetição

As sementes de duas variedades de milho de Moçambique, de grão branco, V-1 (Matuba “FAO600”) e V-2 (ZM523 “FAO600”), foram importadas de acordo com as normas da Direção Geral de Agricultura e Veterinária (Anexos A). As sementes foram semeadas em quatro épocas de sementeira: 02 de abril, 16 de abril, 15 de maio e 28 de maio de 2019. A mobilização e preparação do solo foi realizada uma semana antes de cada data de sementeira.

Para a determinação da densidade aparente, porosidade total e condutividade hidráulica, foram extraídas amostras de solo e efetuadas leituras da infiltração da água no solo, em 3 pontos centrais de cada parcela e em três momentos: antes (ME1) e depois da mobilização do solo (ME2) e na floração (ME3).

Após a emergência dos coleóptilos sempre que necessário, houve suprimento de água através de irrigações com sistema de rega gota-a-gota instalado nas parcelas principais. As infestantes foram controladas com o herbicida Lumax no estado fenológico V4. No estado fenológico V7, foram aplicados 70g de fertilizante 7:14:14 por linha. Efetuaram-se registos semanais da altura das plantas e dos estados fenológicos (Fig. 5).

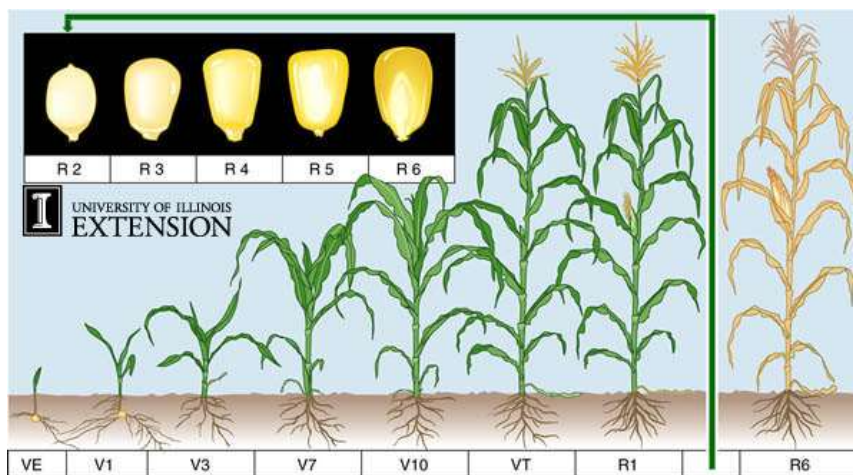


Figura 5. Fases de desenvolvimento da cultura do milho desde a emergência até à maturidade fisiológica.

Fonte: serviços de extensão da universidade de Illinois.

A colheita foi realizada no estado fenológico R3 (Fig. 6), nas plantas da linha central de cada talhão, tendo-se efetuado registos do número de plantas colhidas, da Altura de Inserção da Espiga na planta (AIE), do Peso Total da Planta (PTP) (Fig.7), do Número de Espigas (NE) e do Peso das Espigas (PE).



Figura 6. Espigas colhidas na fase reprodutiva R3, em cada Época de Sementeira.

ES1: Primeira época - colhidas no dia 26 de agosto, ES2: Segunda época - colhidas no dia 02 de setembro, ES3: Terceira época - colhidas no dia 20 de setembro e ES4: Quarta época - colhidas no dia 26 de setembro; V-1: variedade um (Matuba) e V-2: variedade dois (ZM523).



Figura 7. Pesagem das plantas de milho no momento da colheita.

3.1. Determinação dos parâmetros produtivos

- O valor da Altura Média das Plantas (AP) e da Altura de Inserção da Espiga na Planta (AIE), foi determinado no momento da colheita num total de 24 observações, relativas a quatro Épocas de Sementeira, três Repetições e duas Variedades de milho. O valor correspondente a cada observação foi mediante a média de três plantas de milho selecionadas aleatoriamente na linha central de cada talhão. Os valores foram registados numa ficha (Apêndice 7.1).

- O valor médio do Peso Total da Planta (PTP), do Número de Espigas por planta (NE) e do Peso das Espigas por planta (PE), foi determinado em base à colheita de 10 plantas da linha central de cada talhão, num total de 24 observações, relativas a quatro Épocas de Sementeira, três Repetições e duas Variedades. Os valores foram registados numa ficha (Apêndice 7.2).

3.3.1. Proporção de espigas por peso total da planta e rendimento

1. A proporção de espigas por peso total da planta foi determinada através da (Eq.1).

$$IC = \frac{PE}{PTP} \times 100 \quad (1)$$

Onde IC (%) é o índice de colheita, PE é a Peso das espigas (g) e PTP é a Peso total das plantas (g).

2. Os rendimentos do milho foram determinados através da (Eq.2).

$$Rendimento \left(\frac{g}{m^2} \right) = \frac{n^{\circ} \text{ espigas}}{\text{área } (m^2)} \times \text{peso das espigas} \quad (2)$$

3.2. Determinação dos parâmetros das propriedades físicas do solo

3.2.1. Porosidade total e densidade aparente do solo

Os registos da porosidade total (α) e da densidade aparente do solo (ρ_b) (realizadas, antes (ME1) e depois (ME2) da mobilização e na fase da floração (ME3) (Fig. 8) nas entrelinhas do milho), foram determinados pelo método do anel volumétrico propostos por (Blake e Hartge, 1986). Em cada repetição foram extraídas 6 amostras de forma aleatória nos pontos centrais das parcelas, utilizando cilindros de aço com bordas biseladas (diâmetro de 5,98 cm, altura de 4,98 cm e volume de 139,8 cm³).



Figura 8. Momentos de extração das amostras do solo.

ME1: Momento de Ensaio 1 (antes da mobilização do solo), ME2: Momento de Ensaio 2 (depois da mobilização do solo) e ME3: Momento de Ensaio 3 (fase da floração do Milho).

Os cilindros eram cravados na superfície do solo e removidos com auxílio de uma pá manual, e posteriormente removia-se o excesso de terra, com o auxílio de uma faca cortante (Fig. 9). De seguida, os cilindros eram cobertos com uma pelicula aderente e transportadas para o laboratório onde eram colocados em dois recipientes com capacidade de 9 amostras (Fig. 10).



Figura 9. Processo de extração das amostras.

A: penetração dos cilindros na superfície do solo, B: remoção dos cilindros, C: debaste do solo nas superfícies do cilindro e D: proteção da amostra com fita aderente.

No ato da preparação das amostras removiam-se as fitas aderentes e com auxílio de uma argola elástica, prendia-se um pedaço de tecido de náilon na base inferior dos

cilindros e colocavam-se por cima de uma malha plástica situada na superfície do recipiente. No primeiro dia preencheram-se os recipientes contendo as amostras com água a um terço da altura do cilindro, no segundo dia acrescentou-se água até três quartos da altura do cilindro e no terceiro dia completou-se a saturação acrescentando água até dois milímetros abaixo do nível superior do cilindro. De salientar que, se garantiu que as saturações das amostras fossem causadas somente por processo de capilaridade. Portanto, foram evitadas quaisquer saturações acidentais (infiltração pela parte superior do cilindro), e o processo de saturação teve uma duração de 72 horas. No quarto dia após a saturação das amostras, após a remoção das argolas elásticas e dos pedaços de tecido de náilon, as amostras foram imediatamente colocadas em placas de Petri e pesadas. De seguida, as amostras foram colocadas num tabuleiro e secas numa estufa durante 48 horas a 110°C. Depois da secagem as amostras foram pesadas novamente (Fig. 10).

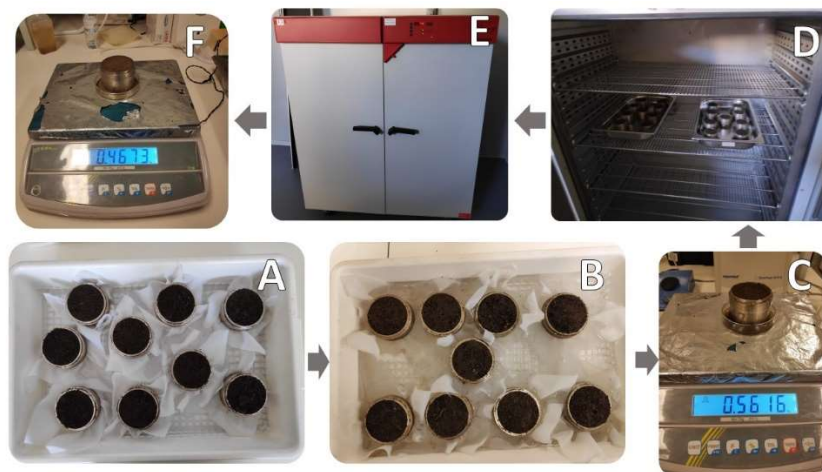


Figura 10. Processo de preparação, saturação, secagem e pesagem das amostras.

A: preparação das amostras (proteção da base do cilindro com a fixação do tecido de náilon), B: saturação das amostras no período de 72 horas, C: obtenção do peso das amostras saturadas, D e E: obtenção do peso seco constante à 110°C em 48 horas, e F: obtenção do peso das amostras secas em 110°C.

A densidade aparente do solo ρ_b é a razão entre a massa de sólidos secos (m_d) e o volume do solo (Eq. 4). O volume do solo inclui o volume de sólidos e do espaço poroso.

$$\rho_b \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{m_d}{V_c} \quad (4)$$

$$m_d (g) = m_t - m_c \quad (5)$$

Onde, md é a massa de amostra após a secagem menos a massa do suporte da amostra, mt é a massa do suporte da amostra mais amostra do solo seca a 110°C em gramas, mc é a massa do suporte para amostras de núcleo vazio e V_c é o volume do suporte da amostra principal em (cm^3). A massa seca é determinada após a secagem até adquirir um peso constante a 110°C (Eq. 5) e o volume do solo é o da amostra recolhida no campo.

A porosidade total do solo (α) é a fração do volume total em um determinado volume de solo passível de ser ocupado por água e/ou ar, sendo a razão (Eq. 6) entre o volume de água (mw) perdida a 110°C e o volume do solo (V_c). O volume de água perdida é determinado pela (Eq. 7) e o volume do solo é o da amostra recolhida no campo.

$$\alpha (\%) = \frac{mw}{V_c} \times 100 \quad (6)$$

$$mw = ms - md \quad (7)$$

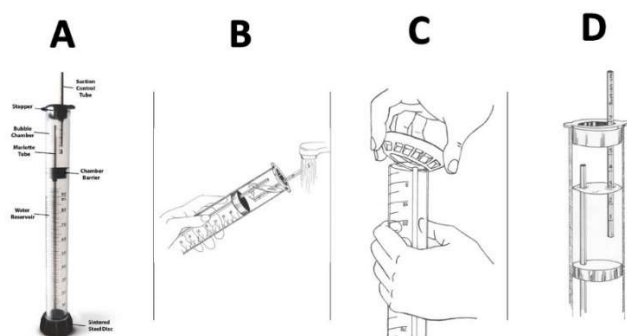
$$\alpha(\%) = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) \times 100 \quad (8)$$

Onde α é a porosidade total do solo expresso em (%), ms (massa do solo saturado) é a massa da amostra do núcleo saturado a 72 horas menos a massa do suporte da amostra do núcleo, md (massa do solo seco) é a massa da amostra do núcleo seca a 110°C menos a massa do suporte da amostra do núcleo, mw (massa de água) é a subtração da massa do solo saturada menos a massa do solo seco, mc é a massa do cilindro para amostras de núcleo vazio, e o V_c , volume do suporte da amostra principal em (cm^3). Também é possível calcular a porosidade total usando a equação universal (Eq. 8) onde α é a porosidade total, Ds é a densidade aparente e Dp é a densidade das partículas do solo.

3.2.2. Condutividade hidráulica

O ensaio foi realizado com auxílio de um infiltrómetro de minidisco com diâmetro de 2,25 cm da marca METER-group. Para cada leitura preparou-se o infiltrómetro enchendo a câmara superior com a água a três quartos e a câmara inferior com um

volume entre 83 e 86 ml, ajustando-se de seguida para uma taxa de sucção de -1 (Fig. 11) colocando-se depois o infiltrómetro numa superfície plana do solo.



Fonte: METER Group Inc., USA, 2019 em <https://www.metergroup.com/environment/products/mini-disk-infiltrometer/>

Figura 11. Preparação do infiltrómetro de minidisco para o ensaio.

A: infiltrómetro de minidisco, B: enchimento da câmara superior com a água corrente a três quartos, C: enchimento da câmara inferior com volume médio entre 83 e 86 ml de água, e D: ajuste da taxa de sucção para o valor igual a -1.

A infiltração da água no solo foi registada, com um cronómetro, a determinados intervalos de tempo, dependendo da velocidade da infiltração, variando entre 30 segundos (rápida infiltração), 60 segundos (infiltração normal: 2-3 ml por 60 segundos, Fig. 12) e 120 segundos (baixa infiltração).



Figura 12. Procedimentos das leituras dos volumes de infiltração de água no solo.

A: Aciona-se o cronómetro ao mesmo tempo que se pousa o infiltrómetro no solo, B: a medida que o nível da água ia baixando, registrava-se o volume em intervalos de tempo específicos.

Os dados das leituras foram inseridos numa macro de Excel “*NEW-Mini-Disk-Infiltrometer-Macro.xlsx*” disponibilizado por METER Group, na sua página oficial (Fig.13). A Macro calcula o valor de *K* a partir do método proposto por Zhang (1997), o

método exige a medição da infiltração cumulativa versus tempo e ajusta os resultados com a (Eq. 9).

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (9)$$

Onde $C_1 (m s^{-1})$ e $C_2 (m s^{-\frac{1}{2}})$ são parâmetros. C_1 está relacionado com a condutividade hidráulica, e C_2 é a capacidade de absorção do solo. A condutividade hidráulica para o solo (K) é então calculada a partir da relação entre C_1 e A (Eq. 10).

$$k = \frac{C_1}{A} \quad (10)$$

Onde C_1 é a inclinação da curva da infiltração cumulativa através da raiz quadrada do tempo e é um valor que relaciona a parâmetros de Van Genuchten para um determinado tipo de solo, taxa de sucção e o raio do disco do infiltrômetro. Variável A é calculada a partir das Eq. 11 e Eq. 12.

$$A = \frac{11,65(n^{0.1} - 1) \exp[2,92(n - 1.9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad (11)$$

$$A = \frac{11,65(n^{0.1} - 1) \exp[7,5(n - 1.9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad (12)$$

Onde n e α são parâmetros de Van Genuchten para o solo, r_0 é o raio do disco e h_0 é a sucção na superfície do disco. O infiltrômetro de Minidisco infiltra a água em uma sucção de -0,5 a -6 cm e tem um raio de 2,25 cm. Os parâmetros de van Genuchten para as 12 classes de texturas foram obtidos de (Carsel e Parrish, 1988).

Os valores de A calculados para o infiltrômetro de Minidisco são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. parâmetros de Van Genuchten para 12 classes de textura do solo e valores “A” para um raio de disco de 2,25 cm e valores de sucção de 0,5 a 6 cm.

Texturas	h ₀									
	Alpha	n/h ₀	-0,5	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
	A									
Areia	0,145	2,68	2,84	2,40	1,73	1,24	0,89	0,64	0,46	0,33
Areia Franca	0,124	2,28	2,99	2,79	2,43	2,12	1,84	1,61	1,40	1,22
Franco Arenoso	0,075	1,89	3,88	3,89	3,91	3,93	3,95	3,98	4,00	4,02
Franco	0,036	1,56	5,46	5,72	6,27	6,87	7,53	8,25	9,05	9,92
Silte	0,016	1,37	7,92	8,18	8,71	9,29	9,90	10,55	11,24	11,98
Franco Siltoso	0,020	1,41	7,10	7,37	7,93	8,53	9,19	9,89	10,64	11,45
Franco Argilo Arenoso	0,059	1,48	3,21	3,52	4,24	5,11	6,15	7,41	8,92	10,75
Franco Argiloso	0,019	1,31	5,86	6,11	6,64	7,23	7,86	8,55	9,30	10,12
Franco Argilo Siltoso	0,010	1,23	7,89	8,09	8,51	8,95	9,41	9,90	10,41	10,94
Argila Arenosa	0,027	1,23	3,34	3,57	4,09	4,68	5,36	6,14	7,04	8,06
Argila Siltosa	0,005	1,09	6,08	6,17	6,36	6,56	6,76	6,97	7,18	7,40
Argila	0,008	1,09	4,00	4,10	4,30	4,51	4,74	4,98	5,22	5,48

Fonte: METER Group Inc., USA (2018)

A Figura 13 ilustra o ambiente de trabalho da planilha de Excel utilizado para a determinação do valor de K e os seus respetivos dados a título de exemplo. As colunas 2 e 4 da tabela são usadas para produzir um gráfico de dispersão XY que se encontra à direita da tabela, onde é usado para calcular C1, que é a inclinação dessa linha, denotada como "y".

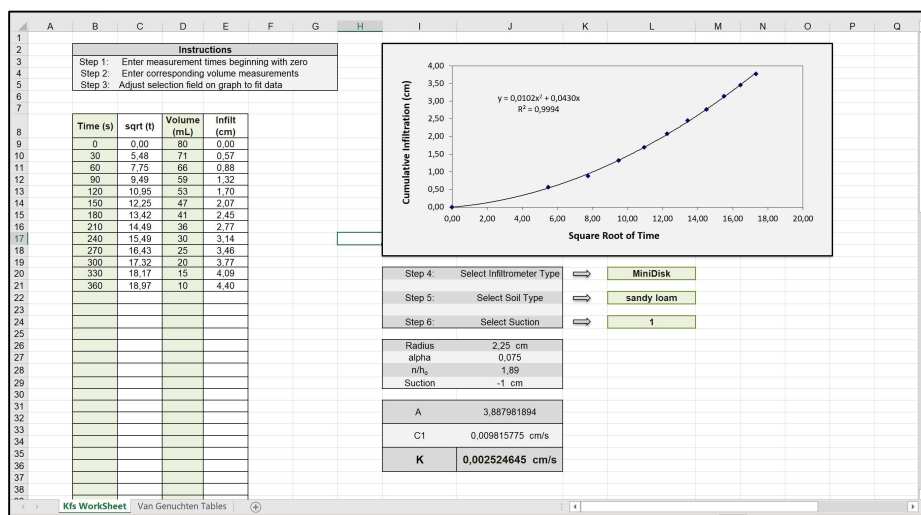


Figura 13. Exemplo do cálculo da condutividade hidráulica na macro.

Fonte: Macro NEW- Mini Disk Infiltrometer-Macro by METER-GROUP.

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva e procedimentos de ANOVA, utilizando o software estatístico “SAS® *University Edition*”. Aplicou-se o modelo estatístico indicado na Eq. 12 para determinação dos efeitos principais e de interação para as variáveis independentes:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + R_k + (\alpha R)_{ik} + V_j + (\alpha V)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (12)$$

onde Y_{ijk} é a resposta observada da variável na i -ésima da data de sementeira do j -ésima das variedades localizado no k -ésimo dos blocos, μ é a média geral, α_i é o efeito da data de sementeira, R_k é o efeito da Repetição, $(\alpha R)_{ik}$ é o erro experimental da parcela principal, V_j é o efeito das variedades, $(\alpha V)_{ij}$ é o efeito de interação entre a data da sementeira e as variedades de milho e ϵ_{ijk} é o erro experimental da subparcela.

As datas de sementeira e as variedades foram considerados como efeitos fixos. Os efeitos aditivos foram assumidos para todos os efeitos lineares. Erros padrão foram calculados a partir dos resíduos da soma dos quadrados de cada ANOVA. Os parâmetros estimados foram comparados usando testes de Duncan ($\alpha = 0,05$).

4. Resultados e Discussão

Na tabela 3 são apresentadas às temperaturas médias, mínimas e máximas registadas durante as épocas de sementeiras e às respetivas épocas de floração e colheita de milho. É importante referenciar que de acordo com os resultados dos outros autores, nenhuma época de sementeira do presente trabalho se situou nos limites das temperaturas consideradas extremas para o milho.

Tabela 3. Temperaturas médias, mínimas e máximas durante as datas de sementeira, floração e colheita de milho.

Época de sementeira (2019)	T _{min}	T _{máx}	T _{méd}	Data de floração (2019)	T _{min}	T _{máx}	T _{méd}	Data de colheita (2019)	T _{min}	T _{máx}	T _{méd}
ES1:02-04	8,2	18,3	13,3	22-07	14,8	25,3	20,1	26-08	16,6	27,7	22,2
ES2:16-04	8,5	19,8	14,2	27-07	15,6	23,0	19,3	02-09	16,1	32,2	24,2
ES3:15-05	10,1	21,1	15,6	14-08	11,8	24,8	18,3	20-09	15,7	22,3	19,0
ES4:28-05	10,5	26,1	18,3	19-08	13,3	23,0	18,2	29-09	10,4	22,2	16,3

T_{min}: temperatura mínima, T_{máx}: temperatura máxima, T_{méd}: temperatura média.

A tabela 4 apresenta dados referentes às quatro Épocas de Sementeira (ES), nomeadamente às datas de sementeira, floração e colheita, assim como o número de dias após a sementeira (DAS) em que ocorreu a floração e o ciclo da cultura.

Tabela 4. Ciclo da cultura desde sementeira até a época da colheita e DAS até a floração do milho.

Época de Sementeira	Data de Sementeira	Data de floração	Floração (DAS)	Data de Colheita	Ciclo (Dias)
ES1	02-04-2019	22-07-2019	111±0,63 ^a	26-08-2019	146±2,1 ^a
ES2	16-04-2019	27-07-2019	102±0,41 ^b	02-09-2019	138±1,2 ^b
ES3	15-05-2019	14-08-2019	91±0,52 ^c	20-09-2019	128±1,0 ^c
ES4	28-05-2019	19-08-2019	83±1,03 ^d	26-09-2019	120±1,2 ^d

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$); DAS: dias após a sementeira.

4.1. Parâmetros Morfológicos e Agronómicos

4.1.1. Efeito da época de sementeira

Em cada Época de Sementeira (ES) foram realizadas 6 observações, respeitantes a 2 variedades e a 3 repetições. A época de sementeira teve um efeito significativo ($p < 0,05$) nos valores médios das seguintes variáveis, Período de floração, Ciclo do

milho, Altura da Planta, Altura de Inserção da Espiga, Peso Total da Planta, Peso de Espigas por planta, Índice de Colheita e Rendimento do milho.

4.1.1.1. Período de floração

Os valores médios de período da floração de Milho variaram entre $83 \pm 1,03$ (ES4) e $111 \pm 0,63$ dias (ES1), com uma média geral de $96,9 \pm 10,7$ dias (Tab. 5). A data da floração foi 9 dias mais precoce nas plantas de milho semeadas em meados de abril (ES2= $102 \pm 0,41$ dias), 20 dias mais precoce nas plantas de milho semeadas a meados de maio (ES3= $91 \pm 0,52$ dias), e 28 dias mais precoce nas plantas de milho semeadas em fins de maio (ES4= $83 \pm 1,03$ dias), relativamente às plantas de milho semeadas no início de abril (ES1= $111 \pm 0,63$ dias).

Tabela 5. Comparação entre as Épocas de Sementeira (ES) e os valores médios de dias da floração.

Época de Sementeira	N	Floração (DAS)
ES1: 02-04-2019	6	$111 \pm 0,63^a$
ES2: 16-04-2019	6	$102 \pm 0,41^b$
ES3: 15-05-2019	6	$91 \pm 0,52^c$
ES4: 28-05-2019	6	$83 \pm 1,03^d$

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.1.2. Ciclo do Milho

Os valores médios do Ciclo do Milho variaram entre $120 \pm 1,2$ (ES4) e $146 \pm 2,1$ dias (ES1), com uma média geral 133 ± 10 dias (Tab. 6). O ciclo da cultura foi reduzido em 8 dias nas plantas de milho semeadas em meados de abril (ES2= $138 \pm 1,2$ dias), 18 dias nas plantas de milho semeadas a meados de maio (ES3= $128 \pm 1,0$ dias), e 26 dias nas plantas de milho semeadas em fins de maio (ES4= $120 \pm 1,2$ dias), relativamente às plantas de milho semeadas no início de abril (ES1= $146 \pm 2,1$ dias), devido a temperaturas mais baixas ($13,3^\circ\text{C}$) no início de abril e mais elevadas ($18,3^\circ\text{C}$) nos fins de maio.

Tabela 6. Comparação entre as Épocas de Sementeira (ES) e os valores médios do ciclo de milho (CM).

Época de Sementeira	N	Ciclo do Milho (dias)
ES1: 02-04-2019	6	$146 \pm 2,1^a$
ES2: 16-04-2019	6	$138 \pm 1,2^b$
ES3: 15-05-2019	6	$128 \pm 1,0^c$
ES4: 28-05-2019	6	$120 \pm 1,2^d$

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.1.3. Altura das plantas de Milho

Os valores médios da altura das plantas de milho variaram entre $280,4 \pm 15,8$ cm (ES1) e $320,2 \pm 27,9$ cm (ES4), com uma média geral $298,9 \pm 28,7$ cm (Tab. 7). O milho semeado no final de maio (ES4= $320,2 \pm 27,9$ cm) atingiram uma altura ($p < 0,05$) superior a 39,8 cm e superior a 31 cm em relação ao milho semeado no início de abril (ES1= $280,4 \pm 15,8$ cm) e meados de maio (ES3= $289,2 \pm 37,7$ cm), respectivamente. Também, constatou-se que às plantas de milho semeadas em meados de abril (ES2= $306,0 \pm 14,3$ cm) atingiram uma altura ($p < 0,05$) superior a 25,6 cm em relação às plantas semeadas no início de abril (ES1= $280,4 \pm 15,8$ cm).

Tabela 7. Comparação entre as Épocas de Sementeira (ES) e os valores médios da Altura das Plantas (AP).

Época de Sementeira	N	Altura da Planta (cm)
ES1: 02-04-2019	6	$280,4 \pm 15,8^c$
ES2: 16-04-2019	6	$306,0 \pm 14,3^{ab}$
ES3: 15-05-2019	6	$289,2 \pm 37,7^{bc}$
ES4: 28-05-2019	6	$320,2 \pm 27,9^a$

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.1.4. Altura da inserção das espigas

O valor médio da AIE, foi inferior ($p < 0,05$) nas plantas de milho semeadas no início de abril (ES1= $127,1 \pm 4,4$ cm) em relação ao das semeadas a partir de meados de abril (ES2= $147,0 \pm 8,2$ cm; ES3= $148,3 \pm 24,2$ cm; ES4= $156,5 \pm 5,9$ cm), com uma média geral $144,7 \pm 16,6$ (Tab. 8).

Tabela 8. Comparação dos valores médios da variável AIE nas épocas de sementeiras.

Época Sementeira	N	AIE (cm)
ES1: 02-04-2019	6	$127,1 \pm 4,4^b$
ES2: 16-04-2019	6	$147,0 \pm 8,2^a$
ES3: 15-05-2019	6	$148,3 \pm 24,2^a$
ES4: 28-05-2019	6	$156,5 \pm 5,9^a$

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.1.5. Peso Total da Planta

Os valores médios do Peso Total da Planta de milho variaram entre $1,29 \pm 0,21$ kg (ES1) e $1,90 \pm 0,31$ kg (ES4), com uma média geral $1,55 \pm 0,34$ kg (Tab. 9). As plantas de milho semeadas nos fins de maio (ES4= $1,90 \pm 0,31$ kg) pesaram mais ($p < 0,05$) $0,61$ kg em relação às plantas semeadas no início de abril (ES1= $1,29 \pm 0,21$ kg) e mais $0,41$ kg em relação as plantas de milho semeado entre meados de abril (ES2= $1,53 \pm 0,07$ kg) e meados de maio (ES3= $1,46 \pm 0,37$ kg), estas por sua vez pesaram mais $0,21$ kg em relação as plantas de milho semeadas no início de abril (ES1= $1,29 \pm 0,21$ kg).

Tabela 9. Comparação dos valores médios da variável Peso Total das Plantas (PTP).

Época de Sementeira	N	Peso Total da Planta (kg)
ES1: 02-04-2019	6	$1,29 \pm 0,21^c$
ES2: 16-04-2019	6	$1,53 \pm 0,07^b$
ES3: 15-05-2019	6	$1,46 \pm 0,37^b$
ES4: 28-05-2019	6	$1,90 \pm 0,31^a$

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.1.4. Número de Espigas por Planta

Os valores médios do Número de Espigas por planta variaram entre $1,2 \pm 0,10$ (ES1) e $1,4 \pm 0,22$ (ES4), com uma média geral $1,3 \pm 1,5$ (Tab. 10), contudo a Época de Sementeira não teve efeito significativo no Número de Espigas por planta ($p < 0,05$).

Tabela 10. Comparação dos valores médios da variável Número de Espigas por planta (NE).

Época de Sementeira	N	NE
ES1: 02-04-2019	6	$1,2 \pm 0,10^a$
ES2: 16-04-2019	6	$1,3 \pm 0,14^a$
ES3: 15-05-2019	6	$1,2 \pm 0,05^a$
ES4: 28-05-2019	6	$1,4 \pm 0,22^a$

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.1.5. Peso de Espigas por planta

Os valores médios do peso de espigas por planta variaram entre $228,0 \pm 44,2$ g (ES1) e $290,7 \pm 25,7$ g (ES4) com uma média geral $270,3 \pm 42,2$ g (Tab. 11). As plantas de milho semeadas no início de abril (ES1= $228,0 \pm 44,2$ g) produziram espigas cerca de

56,4 g mais leves ($p < 0,05$) em relação ao das sementeiras a partir de meados de abril (ES2=476,7±45,5g; ES3 = 285,3±23,4 g; ES4=511,7±94,7 g).

Tabela 11. Comparação dos valores médios da variável Peso de Espigas por planta (PE).

Época de Sementeira	N	PE (g)
ES1: 02-04-2019	6	228,0±44,2 ^b
ES2: 16-04-2019	6	277,1±45,3 ^a
ES3: 15-05-2019	6	285,3±23,4 ^a
ES4: 28-05-2019	6	290,7±25,7 ^a

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.1.6. Índice de colheita

Os valores médios do Índice de Colheita (IC) variaram entre 26,8±2,8% (ES4) e 32,8±5,6% (ES3), com uma média geral 29,6±4,2% (Tab. 12). O IC foi superior ($p < 0,05$) quando o milho foi semeado em meados de abril (ES2=31,2±2,8%) ou em meados de maio (ES3=32,8±5,6%) em relação ao milho semeado no início de abril (ES1=27,8±2,5%) ou em fins de maio (ES4=26,8±2,8%).

Tabela 12. Comparação dos valores médios da variável Índice de Colheita (IC).

Época Sementeira	N	Índice de Colheita (%)
ES1: 02-04-2019	6	27,8±2,5 ^b
ES2: 16-04-2019	6	31,2±2,8 ^a
ES3: 15-05-2019	6	32,8±5,6 ^a
ES4: 28-05-2019	6	26,8±2,8 ^b

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.1.7. Rendimento da Cultura

Os valores médios do Rendimento variaram entre 19,0±5,1 t/ha (ES1) e 28,0±4,9 t/ha (ES4), com uma média geral 24,4±5,2 t/ha (Tab. 13). O milho semeado no início de abril (ES1=19,0±5,1t/ha) produziu menos ($p < 0,05$) 9 t/ha, menos 7,2 t/ha e menos 5,5 t/ha em relação ao milho semeado no fim de maio (ES4=28,0±4,9 t/ha), em meados de abril (ES2=26,2±3,4t/ha) e no início de maio (ES3=24,5±2,8t/ha), respectivamente.

Tabela 13. comparação dos valores médios da variável Rendimento de Milho.

Época Sementeira	N	Rendimento de Milho (t/ha)
ES1: 02-04-2019	6	19,0±5,1 ^b
ES2: 16-04-2019	6	26,2±3,4 ^a
ES3: 15-05-2019	6	24,5±2,8 ^a
ES4: 28-05-2019	6	28,0±4,9 ^a

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.2. Efeito da Variedade

Em cada Variedade foram registadas 12 observações respeitantes a 4 épocas de sementeira e 3 repetições. Verificaram-se diferenças significativas ($p < 0,05$) no valor médio das seguintes variáveis: Peso Total da Planta e Altura da Planta, entre as variedades de milho.

4.1.2.1. Peso Total da Planta de Milho

Os valores médios do Peso Total da Planta (PTP) de Milho variaram ($p < 0,05$) entre 1,4±0,32 kg (V-2: ZM523) e 1,7±0,33 kg (V-1: Matuba) com uma média geral 1,5±0,34kg (Tab. 14), tendo as plantas da variedade Matuba pesado mais 300 g do que as plantas da variedade ZM523.

Tabela 14. Comparação dos valores médios da variável Peso Total das Plantas (PTP).

Variedades	N	Peso Total da Planta (kg)
V-1: Matuba	12	1,7±0,33 ^a
V-2: ZM523	12	1,4±0,32 ^b

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4.1.2.2. Altura da planta

Os valores médios da Altura da Planta variaram ($p < 0,05$) entre 284,6±24,7 cm (V-2: ZM523) e 284,6±24,7 cm (V-1: Matuba) com uma média geral 298,9±28,7 cm (Tab. 15), tendo as plantas da variedade Matuba medido mais 28,7 cm de altura do que as plantas da variedade ZM523.

Tabela 15. Comparação dos valores médios da variável Altura da Planta (AP).

Variedades	N	Altura da planta (cm)
V-1: Matuba	12	313,3±25,7 ^a
V-2: ZM523	12	284,6±24,7 ^b

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

As plantas de milho semeadas nos fins de maio (ES4) tiveram uma floração mais precoce, um ciclo menor e atingiram um peso total superior em relação às plantas semeadas anteriormente.

As plantas de milho semeadas no início de abril (ES1), tiveram uma floração mais tardia, um ciclo mais longo, uma menor Altura de Inserção da Espiga, atingiram um Peso Total da Planta e Rendimento inferiores em relação às plantas semeadas posteriormente.

Em relação às ES1 e ES4, às plantas de milho semeadas em meados de abril (ES2) e meados de maio (ES3) obtiveram um Peso Total intermedio e um Índice de Colheita superior.

O Índice de Colheita, neste estudo, refere-se à relação entre o peso das espigas e o peso total das plantas colhidas na linha central de cada talhão. Nas Épocas de Sementeira (ES2 e ES3) os valores do Peso Total da Planta foram inferiores aos da ES4, podendo explicar o valor superior do Índice de Colheita nestas Épocas de Sementeira.

Hatfield *et al.*, (2008); Hatfield *et al.*, (2011) mencionaram que a taxa de crescimento e desenvolvimento da planta depende da temperatura ao redor da planta e cada espécie tem uma faixa de temperatura específica representada por um mínimo, um máximo e um ótimo. No caso do milho, a temperatura ideal para o seu desenvolvimento desde a emergência até à floração, situa-se entre 24 e 30 °C (Cruz *et al.*, 2006), porém os rendimentos mais altos de grãos são determinados em épocas com temperaturas médias relativamente frias na fase de crescimento (18 a 21°C), em comparação com épocas de temperaturas mais quentes ou mais frias (Muchow *et al.*, 1990; Cruz *et al.*, 2006), Isto porque as temperaturas altas aceleram o desenvolvimento da planta, reduzindo a duração dos períodos de crescimento necessários para o tamanho ideal da planta e do grão. Este desenvolvimento fenológico mais rápido também altera o momento da demanda máxima de água da planta (Harrison *et al.*, 2011).

O milho na fase fenológico V5, o ponto de crescimento se encontra abaixo da superfície do solo, onde é bastante afetado pela temperatura do solo durante as fases

iniciais do crescimento vegetativo. Assim, temperaturas baixas podem aumentar o tempo decorrente entre um estágio e outro, alongando o ciclo da cultura, podendo aumentar o número total de folhas, atrasar a formação do pendão e diminuir a disponibilidade de nutrientes para a planta (Magalhães e Durães, 2006). A planta de milho precisa acumular quantidades distintas de energia ou simplesmente unidades calóricas necessárias a cada etapa de crescimento e desenvolvimento (Cruz *et al.*, 2006). Portanto, no caso da ES1 o crescimento e o desenvolvimento das plantas se estabeleceu a temperaturas médias do ar inferiores a 13,3°C (T_{mín.} 8,2°C; T_{máx.} 18,3 Tabela 5), pode ter contribuído para alargar o período vegetativo e afetar a distribuição de fotoassimilados entre os órgãos vegetativos e reprodutivos, e consequentemente um menor rendimento. Por outro lado, na ES4 as plantas cresceram em ambiente de temperatura média do ar superior a 18,3°C (T_{mín.} 10,5°C; T_{máx.} 26,1 Tabela 5), tiveram um menor período vegetativo e uma melhor distribuição de fotoassimilados, e consequentemente um maior rendimento.

Segundo Taiz e Zeiger, (2004), quando espécies tropicais e subtropicais são submetidas a temperaturas entre 10 e 15°C eventualmente o crescimento é lento. Muchow *et al.* (1990) relataram rendimentos mais altos em locais com temperaturas médias relativamente frias na fase de crescimento (18,0 a 19,8 °C, cidade de Grand Junction), em comparação com locais mais quentes, como por exemplo na cidade de Champaign, Illinois (21,5 a 24,0°C) ou locais tropicais quentes (26,3 a 28,9°C).

Estudo recente realizado no Brasil por Cruz, *et al.* (2006) também confirmaram o efeito da temperatura no rendimento, ao compararem temperaturas médias diurnas de 25°C, 21°C e 18°C, verificaram que o milho obtém maior produção de matéria seca e maior rendimento de grãos à temperatura de 21°C. Estes resultados vão de acordo com os resultados encontrados no presente trabalho.

Perez *et al.*, (2001) observaram que plantas da família Poaceae, como Festuca arundinacea, quando cultivadas a 12°C apresentavam inibição do crescimento foliar em relação às cultivadas a 25°C. Este efeito também foi demonstrado por Mollo (2009) quando estudava o efeito da temperatura no crescimento, no conteúdo e na composição de carboidratos não estruturais de plantas de *Alcantarea imperialis* em cultivo in vitro, verificou que plantas mantidas por 9 meses a 15°C apresentaram folhas e raízes em número e tamanho reduzidos e menores valores de massas fresca e seca.

A sementeira muito precoce aumenta a probabilidade de más condições de sementeira devido ao solo frio e húmido, resultando em um impacto negativo na emergência das plantas (Parker *et al.*, 2016). A escolha ideal da data de sementeira resulta em maior rendimento de grãos do que as datas de sementeira precoce e tardia (Zaki *et al.*, 1994; Otegui *et al.*, 1995; Jaliya *et al.*, 2008; Ashik *et al.* 2018). Baum *et al.*,

(2019) relataram os efeitos da data de sementeira na produção de grãos de milho, o tempo de aparecimento dos estigmas e a duração do enchimento de grãos

4.2. Parâmetros das Propriedades físicas do solo

A Tabela 16 apresenta datas de quatro datas de sementeira e datas de três momentos de colheitas de amostras de solo, utilizadas no estudo das propriedades físicas do solo.

Tabela 16. Datas de sementeira e de colheita de amostras de solo.

Data ME1	Data ME2	Época de Sementeira	Data de Sementeira	Data ME3
22-03-2019	28-03-2019	ES1	02-04-2019	24-06-2019
05-04-2019	09-04-2019	ES2	16-04-2019	31-07-2019
03-05-2019	09-05-2019	ES3	15-05-2019	27-08-2019
20-05-2019	24-05-2019	ES4	28-05-2019	05-09-2019

ME1: Momento de Ensaio 1 (antes da mobilização do solo), ME2: Momento de Ensaio 2 (depois da mobilização do solo) e ME3: Momento de Ensaio 3 (fase da floração do Milho).

4.2.1. Efeito da Época de Sementeira

Em cada Época de Sementeira foram registadas 54 observações, relativas a 2 variedades, 3 repetições, 3 momentos e 3 leituras. A Época De Sementeira teve um efeito significativo ($p < 0,05$) nos valores médios da Condutividade Hidráulica e da Porosidade Total do Solo.

4.2.1.1. Condutividade Hidráulica

Os valores médios da Condutividade Hidráulica variaram entre $6 \pm 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$ (ES2) e $18 \pm 19 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$ (ES1), com uma média geral $13 \pm 15 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$ (Fig. 14). O valor da Condutividade Hidráulica foi inferior na parcela de milho semeada em meados de abril (ES2= $6 \pm 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$) em relação a do milho semeado no início de abril (ES1= $18 \pm 19 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$) ou entre meados (ES3= $14 \pm 15 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$) a fim de maio (ES4= $16 \pm 16 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$). O valor da Condutividade Hidráulica foi inferior na parcela de milho semeada no início de maio (ES3= $14 \pm 15 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$) em relação a do milho semeado no início de abril (ES1= $18 \pm 19 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$).

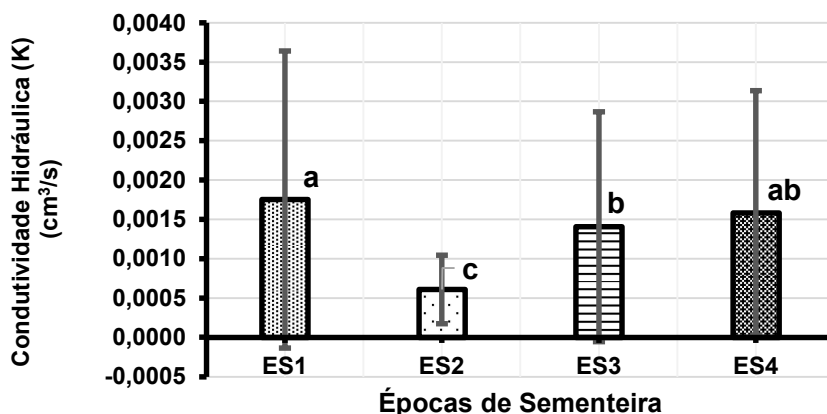


Figura 14. Comparação dos valores médios da variável K nas épocas de sementeiras.

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra nas barras não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$), ES1: Época de sementeira 1 (02/04/2019), ES2: Época de sementeira 2 (16/04/2019), ES3: Época de sementeira 3 (15/05/2019) e ES4: Época de sementeira 4 (28/05/2019).

As diferenças identificadas nas médias ES1 e ES2 foram marcadas por ocorrência de precipitação (ocorrência antes ou durante a leitura) e/ou rega (eficiência de rega ao longo dos talhões), que podem ter influenciado a velocidade de infiltração de água através da saturação ou compactação do solo.

A diferença da média da ES2 em relação as outras, foi influenciada pela variação das médias do ME2 (depois da mobilização do solo), pois a velocidade da infiltração de água no solo neste momento foi lenta devido a ocorrência de precipitação nos dias de leitura o que culminou com a obtenção de uma média inferior. Por outro lado, por não houver precipitação durante as leituras no ME2 de ES1, ES3 e ES4, a velocidade de infiltração foi rápida que culminou com a obtenção de médias superiores.

Já a diferença da média de ES1 em relação as outras, foi influenciada por sistema de rega gota-a-gota instalado no talhão desta.

4.2.1.2. Porosidade Total do Solo

Os valores médios da Porosidade Total variaram entre $54 \pm 7\%$ (ES1) e $61 \pm 3\%$ (ES4), com uma média geral $59 \pm 5\%$ (Fig. 15). Encontraram-se diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os valores médios da Porosidade Total do Solo (α), visto que o α de solo das amostras extraídas no fim de março (ES1= $54 \pm 7\%$) foi inferior em relação às amostras extraídas no início de abril (ES2= $61 \pm 3\%$) e maio (ES3= $61 \pm 3\%$), e fim de maio (ES4= $61 \pm 3\%$).

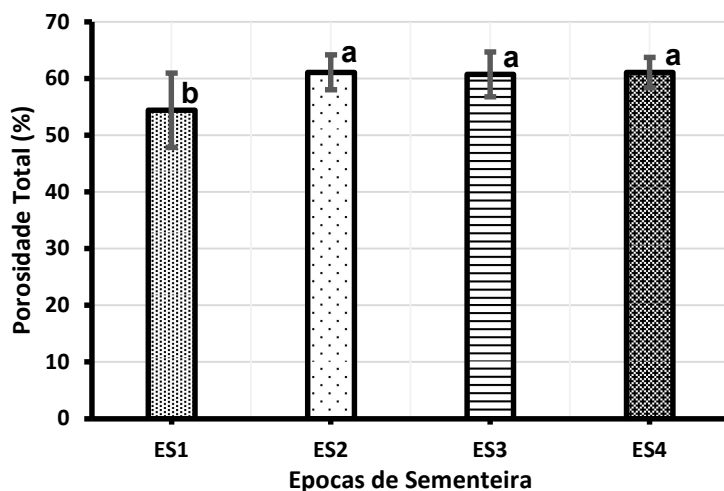


Figura 15. Comparação dos valores médios da variável α nas ES.

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra nas barras não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$), ES1: Época de sementeira 1 (02/04/2019), ES2: Época de sementeira 2 (16/04/2019), ES3: Época de sementeira 3 (15/05/2019) e ES4: Época de sementeira 4 (28/05/2019).

A diferença da média da primeira época em relação às outras, deve-se, ao manejo de rega ao longo do ciclo da cultura, onde se verificou que, a rega era uniforme nas ES2, ES3 e ES4, enquanto na ES1 se verificou o contrário. Portanto, presume-se que este evento tenha influenciado a compactação do solo nos momentos das medições das plantas.

4.2.2. Efeito do Momento de Ensaio

Em cada Momento (ME) foram registadas 72 observações, relativas a 4 épocas de sementeira, 2 variedades, 3 repetições e 3 leituras. A variável Momento de Ensaio teve um efeito significativo ($p < 0,05$) nos valores médios da Condutividade Hidráulica, Porosidade Total e Densidade Aparente do Solo.

4.2.2.1. Condutividade Hidráulica

Os valores médios da Condutividade Hidráulica (K) foram inferiores ($p < 0,05$) quando as amostras foram colhidas antes da preparação do solo ($ME1 = 7 \pm 5 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$) ou no período da floração ($ME3 = 6 \pm 3 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$) em relação às amostras colhidas depois da preparação do solo ($ME2 = 28 \pm 18 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$) (Fig. 16).

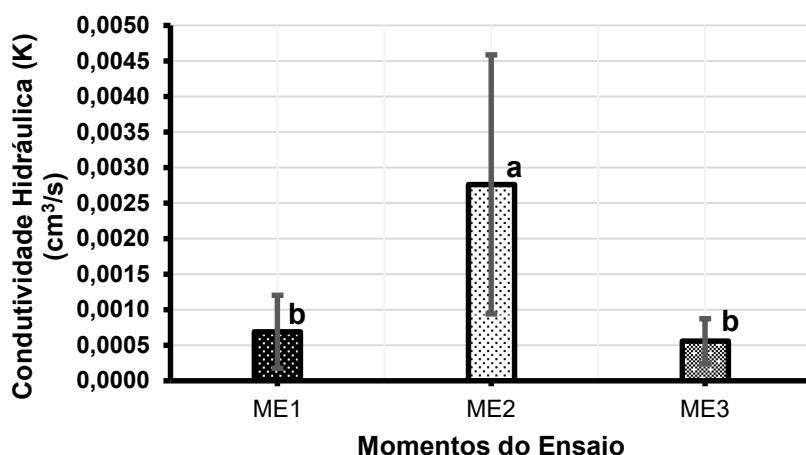


Figura 16. Comparação dos valores médios da variável K nos Momentos de Ensaio.

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra nas barras não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$), ME1: Momento de Ensaio 1 (antes da mobilização do solo), ME2: Momento de Ensaio 2 (depois da mobilização do solo) e ME3: Momento de Ensaio 3 (fase da floração do Milho).

O valor da K inicial, determinado antes da mobilização ($ME1 = 7 \pm 5 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$), após a mobilização do solo aumentou exageradamente ($ME2 = 28 \pm 18 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$) e posteriormente com o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, diminuiu para ($ME3 = 6 \pm 3 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$). Portanto os resultados demonstram que o valor de K tem a tendência de aumentar com a mobilização do solo (ME2) e com o tempo o valor tende a baixar na Floração das plantas (ME3), tornando-se mais próximo dos valores iniciais, determinados antes da mobilização do solo (ME1).

4.2.2.2. Porosidade Total do Solo

Os valores médios da Porosidade Total do Solo (α), variaram entre 57 ± 7 (ME3) e $62 \pm 3\%$ (ME1), com uma média geral $59 \pm 5\%$ (Fig. 17). O valor da Porosidade Total do Solo (α), foi inferior ($p < 0,05$) nas amostras colhidas quando o milho se encontrava em floração ($ME3 = 57 \pm 7\%$), intermédio quando as amostras foram colhidas antes da mobilização do solo ($ME1 = 59 \pm 4\%$) e superior quando as amostras foram colhidas depois da mobilização do solo ($ME2 = 62 \pm 3\%$).

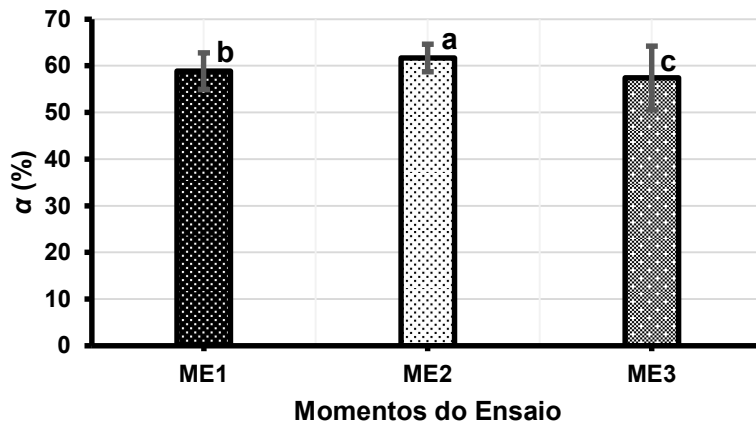


Figura 17. Comparação dos valores médios da variável Porosidade Total do solo (α) nos Momentos de Ensaio.

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra ao longo da linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$), ME1: Momento de Ensaio 1 (antes da mobilização do solo), ME2: Momento de Ensaio 2 (depois da mobilização do solo) e ME3: Momento de Ensaio 3 (fase da floração do Milho).

O α inicial, determinado antes da mobilização (ME1=59±4%), aumentou 3 % após a mobilização do solo (ME2=62±3%) e posteriormente com o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, diminuiu 5% na floração do milho (ME3=57±7%). Portanto os resultados demonstram que os valores de α tem a tendência de aumentar no momento da mobilização do solo e com o tempo o valor tende a baixar, tornando-se mais próximo dos valores iniciais, determinados antes da mobilização do solo.

4.2.2.3. Densidade Aparente do Solo

Os valores médios da Densidade Aparente (ρ_b), variaram entre 1,11±0,12 e 1,23±0,1g/cm³ com uma média geral 1,19±0,12g/cm³ (Fig. 18). O valor de ρ_b do solo, foi inferior ($p < 0,05$) nas amostras colhidas depois da mobilização do solo (ME2=1,11±0,12g/cm³) em comparação com os valores das amostras colhidas antes da mobilização do solo (ME1= 1,23±0,1g/cm³) ou quando o milho se encontrava em floração (ME3=1,22±0,12 g/cm³).

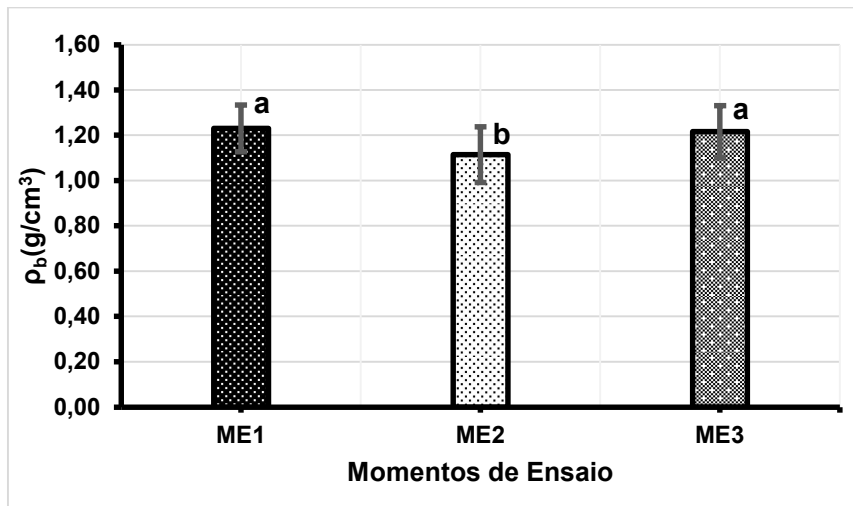


Figura 18. Comparação dos valores médios da variável ρ_b nos Momentos de Ensaio.

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra ao longo da linha não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$), ME1: Momento de Ensaio 1 (antes da mobilização do solo), ME2: Momento de Ensaio 2 (depois da mobilização do solo) e ME3: Momento de Ensaio 3 (fase da floração do Milho).

4.2.3. Efeitos da interação entre ES e ME

Na interação entre a Época de Sementeira e o Momento de Ensaio foram registadas 18 observações, relativamente a 2 variedades, 3 repetições e 3 leituras.

4.2.3.1. Porosidade Total do Solo

Nas parcelas do milho semeado em meados de abril e fins de maio (ES2 e ES4) os valores médios de α em amostras de solo colhidas depois da mobilização do solo (ME2) e fase da floração (ME3) (Fig. 19), foram idênticos ($p < 0,05$), enquanto que nas parcelas do milho semeado no início de abril e meados de maio (ES1 e ES3) os valores médios de α em amostras de solo colhidas antes (ME1) e depois da mobilização do solo (ME2) e fase da floração (ME3) foram diferentes ($p < 0,05$). Contudo, o efeito da interação entre ES e ME (Fig. 20), foi significativo ($p < 0,05$) devido à Porosidade Total do Solo (α) ter sido inferior ($47 \pm 3\%$; $p < 0,05$) nas amostras colhidas num solo compacto no período de floração (ME3) do milho semeado no início de abril (ES1). Nos talhões referentes à ES1, a rega não era uniforme, podendo ter contribuídos para a compactação do solo.

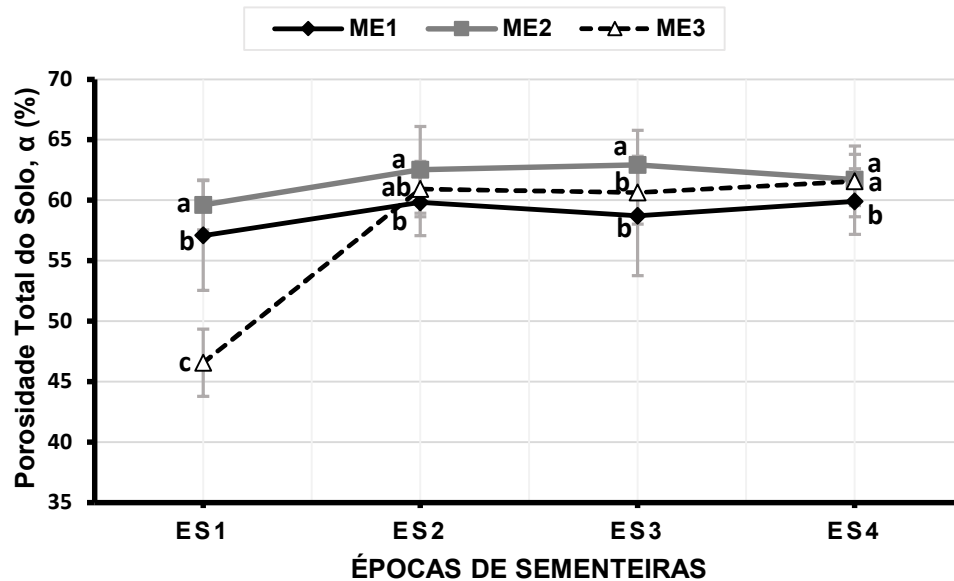


Figura 19. Efeito da interação entre a variável ES e ME para valores de α .

As médias e desvio padrão seguidas pela mesma letra nas barras não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$). ES1: Época de sementeira 1 (02/04/2019), ES2: Época de sementeira 2 (16/04/2019), ES3: Época de sementeira 3 (15/05/2019) e ES4: Época de sementeira 4 (28/05/2019). ME1: Momento de Ensaio 1 (antes da mobilização do solo), ME2: Momento de Ensaio 2 (depois da mobilização do solo) e ME3: Momento de Ensaio 3 (fase da floração do Milho).

4.2.3.2. Densidade Aparente do Solo

O efeito da interação entre ES e ME (Fig. 20), foi devido a variações dos valores médios da Densidade Aparente do Solo (ρ_b) das amostras colhidas antes (ME1=1,19±0,12 g/cm³) e depois da mobilização do solo (ME2=1,01±0,11 g/cm³) e no período da floração (ME3=1,32±0,08 g/cm³) na parcela do milho semeado no início de abril (ES1).

Presume-se que esta variação tenha sido causada pela disparidade de rega gota-gota que pode ter contribuído para a compactação do solo nos momentos das medições das plantas. É importante notar que nas amostras de solo colhidas no período da floração (ME3) na ES1, enquanto o valor de ρ_b do solo aumentou o valor de α do solo diminuiu (Fig. 20).

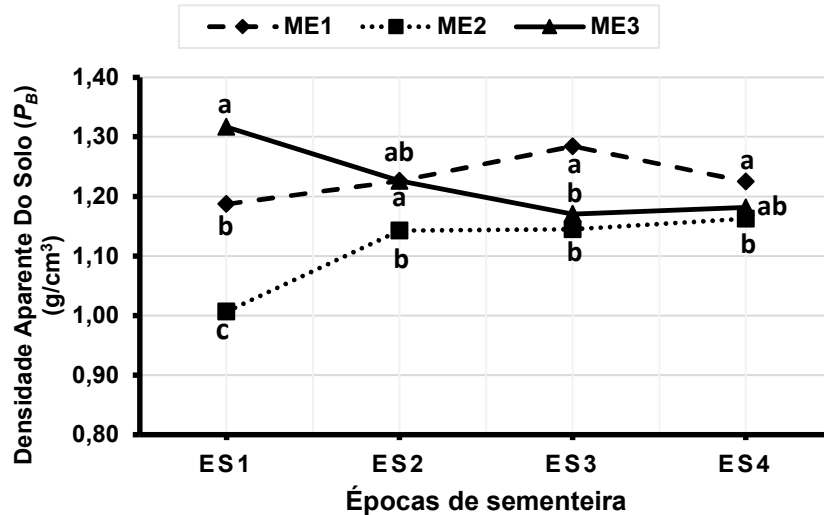


Figura 20. Efeito da interação entre a variável ES e ME para valores de ρ_b .

As médias seguidas pela mesma letra nas barras não diferem pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$); ES1: Época de sementeira 1 (02/04/2019), ES2: Época de sementeira 2 (16/04/2019), ES3: Época de sementeira 3 (15/05/2019) e ES4: Época de sementeira 4 (28/05/2019); ME1: Momento de Ensaio 1 (antes da mobilização do solo), ME2: Momento de Ensaio 2 (depois da mobilização do solo) e ME3: Momento de Ensaio 3 (fase da floração do Milho).

As alterações das propriedades físicas do solo ao longo do ciclo de milho em diferentes datas de sementeiras também afetaram a produtividade do milho, sendo que o milho semeado no início de abril (ES1:02-04-2019) obteve ($p < 0,05$) um baixo rendimento (ES1=19,0±5,1t/ha) em relação ao milho semeado a partir de meados de abril (ES2=26,2±3,4 t/ha; ES3=24,5±2,8 t/ha e ES4=28,0±4,9t/ha), por obter menor valor médio ($p < 0,05$) da Porosidade Total do Solo (ES1=54,4±6,6%) em relação ao milho semeado posteriormente (ES2=61,1±3,1%; ES3=60,8±4,0% e ES4=61,1±2,7%). É importante ressaltar que a Porosidade Total do Solo (α) tem uma relação negativa com a Densidade Aparente do Solo (ρ_b) e uma relação positiva com a Condutividade Hidráulica do Solo (K). Neste estudo, verificamos que depois da preparação do solo, os valores de K e de α aumentaram à medida que os valores de ρ_b diminuíam. Estes valores estão de acordo com os resultados obtidos por outros investigadores, dos quais, relataram que a baixa Densidade Aparente do Solo está associada a melhores condições para o crescimento das plantas (Klute, 1982; Kool *et al.*, 2019), podendo a maior porosidade aumentar a Condutividade Hidráulica, a infiltração e a retenção de água no solo (Kribaa *et al.*, 2001), além de reduzir a erosão e escoamento (Mohammadshirazi *et al.*, 2016).

Schwartz *et al.*, (2010) reportaram que a estrutura do solo e o ρ_b do solo também afetam as trocas de energia e gás na interface da superfície do solo, assim como a produção de CO₂ no solo (Han *et al.*, 2014).

Naghdi *et al.*, (2016) relataram que o α do Solo é fortemente influenciado pelo ρ_b do solo. O uso da terra e as tensões mecânicas afetam fortemente o ρ_b do solo, porque influenciam sua dinâmica e grau de compactação (Naderi-Boldaji e Keller, 2016), O aumento do ρ_b do solo resulta em compactação do solo devido as operações mecânicas antropogénicas, bem como processos naturais como chuva, crescimento e desenvolvimentos das raízes de plantas, que podem reorganizar as partículas sólidas do solo (Al-Kaisi *et al.*, 2017; Busse *et al.*, 2017; Cambi *et al.*, 2017). Por outro lado, a preparação do solo é uma prática comum que visa diminuir o ρ_b do solo e melhorar as condições do solo, bem como o controle de plantas daninhas (Strudley *et al.*, 2008). Kribaa *et al.*, (2001) relataram que a diminuição de ρ_b do solo causada pela preparação do solo poderá aumentar a capacidade de infiltração deste solo.

O ρ_b do solo é considerado um fator-chave que é correlacionado com a compactação do solo e muitas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A compactação do solo é um grande problema agrícola devido ao seu efeito significativo na produtividade (Keesstra *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2016).

Ao longo do tempo, verificamos que a Condutividade Hidráulica aumentou a partir da segunda Época de Sementeira e a Porosidade Total aumentou entre a primeira e a segunda Época de Sementeira e depois manteve-se. Estes valores estão em conformidade com os resultados obtidos por outros investigadores. Tian *et al.*, (2018b), verificaram que, depois da mobilização do solo, os valores da Densidade Aparente do Solo aumentam ao longo do tempo sob a influência da gravidade, da precipitação e do fluxo de água no solo. Na presença de vegetação, a estrutura do solo pode ser ainda mais alterada pela atividade biológica, pelo crescimento radicular e pela senescência, Kodešová *et al.*, (2006).

Tian *et al.*, (2018) reportaram diminuição dos valores de K com o aumento de ρ_b do solo no seu trabalho e ainda verificaram que os valores de ρ_b afetaram a precisão dos valores de K mais adequados. Kool *et al.*, (2019) verificaram que às propriedades hidráulicas variaram fortemente desde a lavoura até finais do ciclo, quando estudavam a retenção de água no solo e a dinâmica da condutividade hidráulica após o preparo do solo.

5. Conclusão

O objetivo da dissertação foi realizar uma avaliação do efeito das características hidrológicas do solo e da época de sementeira no rendimento de duas variedades de Milho Moçambicano (*Zea mays*, L.).

Os valores do Índice de Colheita (IC), Rendimento da Cultura (RC), Altura de Inserção da Espiga (AIE), Altura da Planta (AP), Peso Total da Planta (PTP) e Peso das Espigas (PE), foram significativamente ($p < 0,05$) afetados pela Época de Sementeira (ES). Sendo que os valores médios de IC das plantas que foram semeados no início de abril ($ES1 = 28 \pm 3\%$) e fim de maio ($ES4 = 27 \pm 3\%$) não diferiram entre si, e obtiveram valores inferiores em relação às plantas semeadas em meados de abril ($ES2 = 31 \pm 3\%$) e maio ($ES3 = 33 \pm 6\%$). O rendimento foi inferior no milho semeado no início de abril ($ES1 = 19 \pm 5 \text{ t/ha}$) em relação ao milho semeado a partir de meados de abril ($ES2 = 26 \pm 3 \text{ t/ha}$, $ES3 = 24 \pm 3 \text{ t/ha}$ e $ES4 = 28 \pm 5 \text{ t/ha}$). Portanto conclui-se que o milho semeado no início de abril ($ES1$) teve baixo rendimento em relação as outras épocas porque sofreu impactos negativos das temperaturas baixas ($13,3^\circ\text{C}$), por outro lado, o milho que foi semeado a partir de meados de abril, teve melhores resultados em virtude das temperaturas consideradas ideais para a cultura de milho ($18,3^\circ\text{C}$).

As Épocas de Sementeira afetaram significativamente ($p < 0,05$) os valores da Condutividade Hidráulica (K) e da Porosidade Total (α). Os Momentos de Ensaio, nomeadamente, antes ($ME1$) e depois da mobilização do solo ($ME2$) e fase da floração ($ME3$) afetaram significativamente ($p < 0,05$) os valores da Densidade Aparente (ρ_b), de K e de α . A mobilização do solo contribuiu para baixar o valor médio de ρ_b do solo, de $1,23 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ ($ME1$) para $1,11 \pm 0,12 \text{ g/cm}^3$ ($ME2$), melhorando com a mobilização do solo ($ME2$) os valores médios, de α do solo ($ME1 = 59 \pm 4\%$ para $ME2 = 62 \pm 3\%$), e de K do solo ($ME1 = 7 \pm 5 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$ para $ME2 = 28 \pm 18 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$). O estudo demonstrou que esta melhoria nas propriedades físicas do solo causado pela mobilização do solo é algo temporário, pois com o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular do milho e dotação de rega e/ou ocorrência de precipitação, os valores médios de ρ_b do solo tende a aumentar para $ME3 = 1,22 \pm 0,12 \text{ g/cm}^3$ e consequentemente há redução dos valores de α para $ME3 = 57 \pm 7\%$ e de K para $ME3 = 6 \pm 3 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$. Estes resultados propõe uma relação negativa entre o ρ_b do solo e às variáveis K e α do solo, pois enquanto a média de ρ_b diminuiu na mobilização do solo e aumentou na fase da floração do milho, as médias de K e α do solo aumentaram na mobilização do solo e diminuíram na fase da

floração do milho, sugerindo que, a diminuição do valor de ρ_b do solo pela mobilização, se obtém melhorias na porosidade e condutividade hidráulica deste solo.

Portanto conclui-se que os valores mais baixos da densidade aparente são determinados na mobilização do solo e este efeito influencia no aumento da Porosidade Total do Solo e consequentemente aumento na capacidade de infiltração e retenção de água, garantindo melhores condições agrícolas para o desenvolvimento do milho.

As alteração das propriedades físicas do solo ao longo do ciclo de milho em diferentes datas de sementeiras também afetaram a produtividade do milho, sendo que o milho semeado no início de abril (ES1: 02-04-2019) obteve ($p<0,05$) um baixo rendimento (ES1 = $19,0\pm5,1$ t/ha) em relação ao milho semeado a partir de meados de abril (ES2 = $26,2\pm3,4$ t/ha; ES3 = $24,5\pm2,8$ t/ha e ES4= $28,0\pm4,9$ t/ha), por obter menor valor médio ($p<0,05$) de α do solo (ES1 = $54,4\pm6,6\%$) em relação ao milho semeado posteriormente (ES2= $61,1\pm3,1\%$; ES3= $60,8\pm4,0\%$ e ES4= $61,1\pm2,7\%$).

6. Referencias Bibliográficas

- Abendroth, L. J., Woli, K. P., Myers, A. J. W., Elmore, R. W., 2017. Yield-based corn planting date recommendation windows for Iowa. *Crop Forage Turfgrass Manag.* 3, pp. 1–7. doi: 10.2134/cftm2017.02.0015.
- Abendroth, L. J., Elmore, R. W., Boyer, M. J., Marlay, S.K., 2011. *Corn Growth and Development*. Iowa State University, University Extension, pp. 49.
- Ahad T, Kanth T A, Nabi S., 2015. Soil bulk density as related to texture, organic matter content and porosity in Kandi soils of District Kupwara (Kashmir valley), India. *IJSR - Int JSci Res.* 4: pp. 198–200.
- Al-Kaisi, M. M., Lal, R., Olson, K. R., Lowery, B., 2017. *Soil Health and Intensification of Agroecosystems*. Academic Press, Am-sterdam.
- Al-Shammary, A. A., Kouzanl, A. Z., Kaynak, A., Khoo, S. Y., Norton, M., Gates, W., 2018. Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. *Pedosphere*, 28 (4), pp. 581-596.
- Ashik, B. K., Shrestha, J., Subedi, R., 2018. Grain yield and yield attributing traits of maize genotypes under different planting dates. *Malays. J. Sustains. Agric.* 2 (2): pp. 06-08.
- Augeard, B., Bresson, L.M., Assouline, S., Kao, C., Vauclin, M., 2008. Dynamics of soil surface bulk density: role of water table elevation and rainfall duration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72, pp. 412-423, 10.2136/sssaj2006.0429.
- Bahadur, B.K.S., Karki, T.B., Shrestha, J., Adhikari, P., 2015. Productivity of maize genotypes under different planting dates. *Our Nature*, 13 (1), pp. 45-49. DOI: [http://dx.doi.org/10.3126/ on. v13i1.14208](http://dx.doi.org/10.3126/on.v13i1.14208).
- Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ.*, 31, pp. 11-38.
- Battisti, D. S., Naylor, R. L., 2009. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science*, 323 (5911), pp. 240-244.
- Baum, M. E., Archontoulis, S. V., and Licht, M. A., 2019. Planting Date, Hybrid Maturity, and Weather Effects on Maize Yield and Crop Stage. *Agron. J.* 111:303-313. doi:10.2134/agronj2018.04.0297.
- Bender, J., Weigel, H. J., 2011. Changes in atmospheric chemistry and crop health: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 31: pp. 81–89.
- Berzsenyi, Z., Lap, D. Q., 2001. Effect of sowing time and N fertilisation on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) hybrids between 1991–2000. *Acta Agronomica Hungarica.*, 50: pp. 309–331.
- Blake, G. R., Hartge, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., (ed), 1986. *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. Madison: ASA, pp. 363-375.
- Blake, G. R., 1965. Bulk density. *Methods of Soil Analysis Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, Volume 9, pp. 374-390.

- Bondeau, A., Smith, P. C., Zaehle, S., Schaphoff, S., Lucht, W., Cramer, W., Gerten, D., 2007: Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance. *Global Change Biol.*, 13 (3), pp. 679–706.
- Brady, N.C., R.R. Weil, 1999. "The Nature and Properties of Soils". Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Busse, M. D., Fiddler, G. O., Shestak, C. J., 2017. Conifer root proliferation after 20 years of soil compaction. *For Sci.* 63: pp. 147–150.
- Calzadilla, A., Zhu, T., Rehman, K., Tol, R. S.J., Ringler, C., 2014. Climate change and agriculture: Impacts and adaptation options in South Africa. *Water Resources and Economics*, 01 maio, Volume 5, pp. 24-48.
- Cambi, M., Hoshika, Y., Mariotti, B., Paoletti, E., Picchio, R., Venanzi, R., Marchi, E., 2017. Compaction by a forest machine affects soil quality and *Quercus robur* L. seedling performance in an experimental field. *Forest Ecol Manage.* 384: pp. 406–414.
- Cantarero, M.G., Lague, S.F., Rubiolo, O.J., 2000. "Effects of sowing date and plant density on grain number and yield of a maize hybrid in the central region of Cordoba." Argentina. *J. Agric. Sci.* 17(3), pp 10.
- Carvalho, R. M., Preto, D. O., Rocha, L. C. D., Corsini, I., Ikegami, M. M. C., 2018. Caracterização física do solo sob diferentes formas de preparo em sistema de produção orgânica. *Cadernos de Agroecologia*, 13 (1).
- Casanova, M., Tapia, E., Seguel, O., Salazar, O., 2016. Direct measurement and prediction of bulk density on alluvial soils of central Chile. *Chilean J Agric Res.* 76: pp. 105–113.
- Chakraborty, S., Newton, A. C., 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathol.* 60: pp. 2–14
- Challinor, A. J., Ewert, F., Arnold, S., Simelton, E., Fraser, E., 2009. Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation. *J. Exp. Bot.* 60: pp. 2775–89
- Chang, C. & Lindwall, C., 1992. Effects of tillage and crop rotation on physical properties of a loam soil. *Soil and Tillage Research*, 31 Janeiro, 22(3-4), pp. 383-389.
- Cherniwchan, J. & Moreno-Cruz, J., 2019. Maize and precolonial Africa. *Journal of Development Economics*, Volume 136, pp. 137-150.
- Chhetri, S., Poudel, A. & Kandel, B. P., 2018. Effect of Sowing Dates on Grain Yield and Other Agronomic Traits of Different Maize Inbred Lines. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(5), pp. 428-434.
- Cicchino, M., Rattalino-Edreira, J.I.; Uribe Larrea, M.; Otegui, M.E., 2010. Heat stress in field-grown maize: response of physiological determinants of grain yield. *Crop Sci.*, 50, pp. 1438-1448.
- Cruz, J. C. et al., 2006. Manejo da cultura do Milho, Sete Lagoas, Minas Gerais: Embrapa Milho e Sorgo.

- da Silva, W. M., Bianchini, A., da Cunha, C A., 2016. Modeling and correction of soil penetration resistance for variations in soil moisture and soil bulk density. *Engenh Agric.*36: pp. 449–459.
- Dam, R.F., Mehdi, B.B., Burgess, Madramootoo, C.A., Mehuys, G.R., Callum, I.R., 2005. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil Tillage Res.*, 84, pp. 41-53.
- Dos Santos, H. O., Vasconcellos, R. C. C, De Pauli, B., Pires, R. M. O., Tirelli, G. V., Pinho, E. V. R. V., 2019. Effect of Soil Temperature in the Emergence of Maize Seeds. *Journal of Agricultural Science*, 11(1), pp. 479-484.
- FAO, 2010. Annual corn yield worldwide (Maize), Italy: The Food and Agriculture Organization (FAO).
- FAO, 2018. Crop Description and Climate (Maize). [Online] Available at: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/maize/en/>[Accessed 12 May 2019].
- FAOSTAT, 2017. Annual corn yield worldwide (Maize), Italy: The Food and Agriculture Organization (FAO).
- Farnham, D. E.; Benson, G. O.; Pearce, R. B., 2003. Corn perspective and culture. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA, pp. 33.
- Gadioli, J. L., Dourado-Neto, D., García, A. G. & Basanta, M. d. V., 2000. Temperatura Do Ar, Rendimento De Grãos De Milho E caracterização Fenológica Associada À Soma Calóri. *Scientia Agricol*, 57(3), pp. 377-383.
- Gao, W. D., Whalley, W. R., Tian, Z. C., Liu, J., Ren, T. S., 2016. A simple model to predict soil penetrometer resistance as a function of density, drying and depth in the field. *Soil till Res.*155: pp. 190–198.
- Ghehi N G, Nemes A, Verdoodt A, Van Ranst E, Cornelis W, Boeckx P. 2012. Nonparametric techniques for predicting soil bulk density of tropical rainforest topsoils in Rwanda. *Soil Sci Soc Am J.*76: 1172–1183.
- Han, D., Vahedifard, F., Aanstoos, J. V., 2017. Investigating the correlation between radar backscatter and in situ soil property measurements. *Int J Appl Earth Observ Geoinform.*57: pp. 136–144.
- Han, W., Gong, Y., Ren, T., Horton, R., 2014. Accounting for time variable soil porosity improves the accuracy of the gradient method for estimating soil carbon dioxide production. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 78, pp. 1426-1433,
- Han, Y. Z., Zhang, J. W., Mattson, K. G., Zhang, W. D., Weber, T. A., 2016. Sample sizes to control error estimates in determining soil bulk density in California forest soils. *Soil Sci Soc Am J.*80: pp. 756–764.
- Harrison, L., Michaelsen, J. & Funk, C., 2011. Effects of temperature changes on maize production in Mozambique. *Climate Research*, 46(3), pp. 211-222.
- Hatfield, J.L., Boote, K.J., Fay, P., Hahn, L., Izaurralde, R.C., Kimball, B.A., Mader, T., Morgan, J., Ort, D., Polley, W., Thomson, A., Wolfe, D., 2008. The Effects of Climate Change on

- Agriculture, Land Resources, Water Resources, and Biodiversity in the United States. Agriculture.
- Hatfield, J.L. Boote, K.J. Kimball, B.A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomson, A.M., Wolfe, D.W., 2011. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy Journal*, 103(2), pp. 351-370.
- Hosseini, M., Movahedi, Naeini, S. A., Dehghani, A. A., Khaledian, Y. 2016. Estimation of soil mechanical resistance parameter by using particle swarm optimization, genetic algorithm and multiple regression methods. *Soil till Res.*157: pp. 32–42.
- Hu, W., Shao, M., Wang, Q., Fan, J., Horton, R., 2009. Temporal changes of soil hydraulic properties under different land uses. *Geoderma*, 149, pp. 355-366.
- Jalabert S. M., Martin M. P., Renaud J. P., Boulonne L., Jolivet, C., Montanarella L., Arrouays D., 2010. Estimating forest soil bulk density using boosted regression modelling. *Soil Use Manage.* 26: pp. 516–528.
- Jaliya, M.M., Falaki, A.M., Mahmud, M., Sani, Y.A., 2008. Effect of sowing date and NPK fertilizer rate on yield and yield components of quality protein maize (*Zea mays* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 3 (2), pp. 23-29.
- Juroszek, P. & Tiedemann, V. A., 2013. Plant pathogens, insect pests and weeds in a changing global climate: a review of approaches, challenges, research gaps, key studies and concepts. *The Journal of Agricultural Science*, 23 abril, 151(02), pp. 163-188.
- Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E. C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., Jordán, A., Cerdà, A., 2016. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Sci Total Environ.*551-552: pp. 357–366.
- Klute, A., Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. In: Van Doren, D.M., Allmaras, R.R., Linden, D.R., Whisler, F.D., (Ed.) 1982. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes, Madison: ASA, cap.3, p. 29-43.
- Kodešová, R.; Kodeš, V.; Žigová, A.; Šimůnek, J., 2006. Impact of plant roots and soil organisms on soil micromorphology and hydraulic properties. *Biologia (Bratisl.)*, 61, pp. 339-343.
- Kool, D., Tong, B., Tian, Z., Heitman, J.L., Sauer, T.J., Horton, R., 2019. Soil water retention and hydraulic conductivity dynamics following tillage. *Soil and Tillage Research*, Volume 193, pp. 95-100.
- Kribaa, M., Hallaire, V., Curmi, P., Lahmar, R., 2001. Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. *Soil and Tillage Research*, 60(1-2), pp. 43-53.
- Lestariningsih, I. D., Hairiah, K., 2013. Assessing soil compaction with two different methods of soil bulk density measurement in oil palm plantation soil. *Procedia Environ Sci.*17: pp. 172–178.
- Lindquist, J.L., Arkebauer, T.J., Walters, D.T., Cassman, K.G., and Dobermann, A., 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agron. J.* 97: pp. 72–78. doi:10.2134/agronj2005.0072.

- Liu, X. W., Feike, T., Shao, L. W., Sun, H. Y., Chen, S. Y., Zhang, X. Y., 2016. Effects of different irrigation regimes on soil compaction in a winter wheat-summer maize cropping system in the North China Plain. *Catena*.137: pp. 70–76.
- Lobell, D. B., Gourdji, S. M., 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant physiology*, 01 Dezembro, 160(4), pp. 1686-97.
- Lu, Y. L., Liu, X. N., Zhang, M., Heitman, J., Horton, R., Ren, T. S., 2017. Thermotime domain reflectometry method: Advances in monitoring in situ soil bulk density. *Soil Sci Soc Am J.* doi: 10.2136/ssa2015.0031.
- Magalhães, P.; Durães, F. (2006). Fisiologia da produção de milho. Circular Técnica n. 76, Embrapa, Sete Lagoas, 10pp.
- Meek, B. D., Rechel, E. R., Carter, L. M., DeTar, W. R. and Urie, A. L. 1992. Infiltration Rate of a Sandy Loam Soil: Effects of Traffic, Tillage, and Plant Roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:908-913. doi:10.2136/sssaj1992.03615995005600030038x.
- Metergroup, I., 2018. Mini Disk Infiltrometer, United Staite of America: METER Group Inc., USA.
- Mohammadshirazi, F.; Brown, V.K.; Heitman, J.L.; McLaughlin, R.A., 2016. Effects of tillage and compost amendment on infiltration in compacted soils. *J. Soil Water Conserv.* 71, pp. 443–449.
- Mohawesh, O., Mahmoud, M., Janssen, M., Lennartz, B., 2014. Effect of irrigation with olive mill wastewater on soil hydraulic and solute transport properties. *Int J Environ Sci Technol.*11: pp. 927–934.
- Mollo, L., 2009. Efeito da temperatura no crescimento, no conteúdo e na composição de carboidratos não-estruturais de plantas de *Alcantarea imperialis* (Carrière) Harms (Bromeliaceae) cultivadas in vitro, São Paulo: Biblioteca do Instituto de Botânica.
- Moret-Fernández, D., Latorre, B., Pêna, C, González-Cebollada, C., Lopés, M., 2016. Applicability of the photogrammetry technique to determine the volume and the bulk density of small soil aggregates. *Soil Res.*54: pp. 354–359.
- Mubarak, I.; Mailhol, J.C.; Angulo-Jaramillo, R.; Ruelle, P.; Boivin, P.; Khaledian, M., 2009. Temporal variability in soil hydraulic properties under drip irrigation. *Geoderma*, 150, pp. 158-165.
- Muchow, R.C., T.R. Sinclair, J.M. Bennett. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82:338–343.
- Naderi-Boldaji, M., Keller, T., 2016. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. *Soil till Res*, pp. 159: pp. 41–46.
- Naghdi R., Solgi A., Labelle E. R., Zenner E. K., 2016. Influence of ground-based skidding on physical and chemical properties of forest soils and their effects on maple seedling growth. *Eur J For Res.*135: pp. 949–962.
- Nielsen, R.L., P.R., Thomison, G.A., Brown, A.L., Halter, J., Wells, and Wuethrich, K.L., 2002. Delayed planting effects on flowering and grain maturation of dent corn. *Agron. J.* 94:549–558. doi:10.2134/agronj2002.5490.

- Obour, P. B. et al., 2018. Compaction and sowing date change soil physical properties and crop yield in a loamy temperate soil. *Soil and Tillage Research*, 01 Dezembro, Volume 184, pp. 153-163.
- Oladejo, J., Adetunji, M., 2012. Economic analysis of maize (*zea mays* L.) production in Oyo state of Nigeria. *Agricultural Science Research Journals*, 2(2), pp. 77-83.
- Or, D., Leij, F.J., Snyder, V., Ghezzehei, T.A., 2000. Stochastic model for post tillage soil pore space evolution. *Water Resour. Res.*, 36, pp. 1641-1652, 10.1029/2000WR900092.
- Ordóñez, R.A., Savin, R., Cossani, C.M., Slafer, G.A., 2015. Yield response to heat stress as affected by nitrogen availability in maize. *Field Crop. Res.*, 183, pp. 184-203.
- Otegui, M.E., Nicolini, M.G., Ruiz, R.A., Dodds, P.A. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agronomy Journal*, 87, pp. 29-33.
- Parker, P.S., Shonkwiler, J.S., Aurbacher, J., 2016. Cause and consequence in maize planting dates in Germany. *J. Agron. Crop Sci.* 203:1–14. doi:10.1111/jac.12182.
- PEDSA, 2011. Plano Estratégico para o Desenvolvimento do sector Agrário de Moçambique. [Online] Available at: <https://www.open.ac.uk/technology/mozambique/sites/www.open.ac.uk/technology.mozambique/files/pics/d130876.pdf>.
- Perez, P., Morcuende, R., Molino, I. M., Puente, L. S., Martinez-Carrasco, R., 2001. Contrasting responses of photosynthesis and carbon metabolism to low temperatures in tall fescue and clover. *Physiologia Plantarum*, 112: pp. 478-486.
- Piperno, D. R.; Flannery, K.V., 2001. The Earliest Archaeological Maize (*Zea mays* L.) From Highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98: pp. 2101 – 2103.
- Rattalino-Edreira, J.I., Otegui M.E., 2012. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids Differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. *Field Crop. Res.*, 130, pp. 87-98.
- Ritchie, S.; Hanway, J. J., 1971. How a corn plant develops. Special Report n. 48. Iowa State University - Cooperative Extension Service, 17pp.
- Rose, C.W., 1966. *Agricultural Physics* Pergamon Pres. Ltd.
- Sacks, W. J., Deryng, D., Foley, J. A., Ramankutty, N., 2010. Crop planting dates: an analysis of global patterns. *Global ecology and biogeography*, 04 Agosto, 19(5), pp. 607-620.
- Sandin, M., Koestel, J., Jarvis, N., Larsbo, M., 2017. Post-tillage evolution of structural pore space and saturated and near-saturated hydraulic conductivity in a clay loam soil. *Soil Tillage Res.*, 165, pp. 161-168.
- Sárvári, M., Futó, Z., 2000. Correlation between the sowing date, yield and grain content of maize hybrids on chernozem soil. *Debreceni Egyetem Agrártudomány Közlemények J.*, 1, pp. 32-41.
- Sato, H., Sakurai, N., Sendo, S., Saneoka, H., Nobuyasu, H., Fujita, K., 1997. Factors affecting leaf area development in husk leaf of flint corn. *Crop Science*, 37, pp. 1826-1831.

- Schwartz, R.C.; Baumhardt, R.L.; Evett, S.R., 2010. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. *Soil & Tillage Research*, 110 (2), pp. 221-229.
- Shete, M., Rutten, M., Schoneveld, G. C., Zewude, E., 2016. Land-use changes by large-scale plantations and their effects on soil organic carbon, micronutrients and bulk density: Empirical evidence from Ethiopia. *Agric Hum Val.* 33: pp. 689–704.
- Shiri, J., Keshavarzi, A., Kisi, O., Karimi, S., Iturraran-Viveros, U., 2017. Modeling soil bulk density through a complete data scanning procedure: Heuristic alternatives. *J Hydrol.* 549: pp. 592–602.
- Silva-Neta, I. et al., 2015. Expression of genes related to tolerance to low temperature for maize seed germination. *Genetics and Molecular Research*, 14(1), pp. 2674-2690.
- Sindelar, A.J., K.L. Roozeboom, W.B. Gordon, and W.F. Heer. 2010. Corn response to delayed planting in the central great plains. *Agron. J.* 102:530–536. doi:10.2134/agronj2009.0311.
- Strudley, M. W., Green, T. R., Ascough, J. C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil and Tillage Research*, 99(1), pp. 4-48.
- Suwa, R., Hakata, H., Hara, H., El-Shemy, H. A., Adu-Gyamfi, J. J., Nguyen, N. T., Kanai, S. Lightfoot, D. A., Mohapatra, P. K., Fujita, K., 2010. High temperature effects on photosynthate partitioning and sugar metabolism during ear expansion in maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(2-3), pp. 124-130.
- Tai, A.P., Martin, M.V., Heald, C.L., 2014. Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution. *Nat. Clim. Chang.* 4(9):817–821. <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE2317>.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2004. *Plant Physiology* – 3rd ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, MA, USA. 792 p.
- TIA, 2002. *Tratado de Inquérito Agrícola - Moçambique*, Maputo: MINAG.
- Tian, Z., Lu, Y., Ren, T., Horton, R., Heitman, J.L., 2018. Improved thermo-time domain reflectometry method for continuous in-situ determination of soil bulk density. *Soil Tillage Res.*, 178, pp. 118-129.
- Van Es, H.M., Ogden, C.B., Hill, R.L., Schindelbeck, R.R., Tsegaye, T., 1999. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, pp. 1599-1608, 10.2136/sssaj1999.6361599x.
- Waha, K., Van Bussel, L. G. J., Müller, C., Bondeau, A., 2012. Climate-driven simulation of global crop sowing dates. *Global Ecology and Biogeography*, Volume 21, pp. 247-259.
- Wahid, A.; Gelani, S.; Ashraf, M.; Foolad, M.R., 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environ. Exp. Bot.*, 61, pp. 199-223
- Walter, K., Don, A., Tiemeyer, B., Freibauer, A., 2016. Determining soil bulk density for carbon stock calculations: A systematic method comparison. *Soil Sci Soc Am J.* 80, pp. 579–591.
- Waongo, M. et al., 2014. A Crop Model and Fuzzy Rule Based Approach for Optimizing Maize Planting Dates in Burkina Faso, West Africa. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Março, 53(3), pp. 598-613.

- Wheeler, T., Braun, J. V., 2013. Climate Change Impacts on Global Food Security. Science (New York, N.Y.), 02 Agosto, 341(6145), pp. 508-13.
- Xu L, He N P, Yu G R., 2016. Methods of evaluating soil bulk density: Impact on estimating large scale soil organic carbon storage. Catena.144: pp. 94–101.
- Yang, Q. Y., Luo, W. Q., Jiang, Z. C., Li, W. J., Yuan, D. X., 2016. Improve the prediction of soil bulk density by cokriging with predicted soil water content as auxiliary variable. J Soil Sediment.16: pp. 77–84.
- Yi, X. S., Li, G. S., Yin, Y., 2016. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density: A case study in the three-river head water region of Qinghai Province, China. Pedosphere.26: pp. 362–373.
- Zaki, M.S., Shah, P., Hayat, S. 1994. Effect of sowing date on maize and non-flooded land rice. Sarhad Journal of Agriculture, 10 (2), pp. 191-199.
- Zhang, R., 1997. Determination of Soil Sorptivity and Hydraulic Conductivity from the Disk Infiltrometer. Soil Science Society of America Journal, 61(04), pp. 1024-1030.
- Zhou, B. Y., Yue, X., Sun, X., Wang, Z., Wang, W., Ma, and Zhao, M., 2016. Maize grain yield and dry matter production responses to variations in weather conditions. Agron. J. 108: pp.196–204. doi:10. 213 4/ag ronj2015.0196.

7.2. Ficha para registo do crescimento e desenvolvimento das plantas


[illegible]


7.3. Ficha para determinação de índice de colheita e rendimento

N	Épocas	Genótipo	Nº. Plantas	Data Sementeira	Data Colheita	DAS	Altura (cm)	Peso Total planta (g)	Nº Espigas	Peso Espigas (g)	IC
1	ES1	V-2									
2		V-1									
3		V-2									
4		V-1									
5		V-2									
6		V-1									
7	ES2	V-1									
8		V-2									
9		V-1									
10		V-2									
11		V-1									
12		V-2									
13	ES3	V-2									
14		V-1									
15		V-1									
16		V-2									
17		V-2									
18		V-1									
19	ES4	V-1									
20		V-2									
21		V-2									
22		V-1									
23		V-1									
24		V-2									

8. Anexos

Anexo A: Pedido de importação de sementes agrícolas (sementes Moçambicanas)

 **REPÚBLICA PORTUGUESA** | COMISSÃO EUROPEIA
COMISSÃO EUROPEIA

 **dgav**
Departamento de Gestão Agrária e Veterinária

N.º **014/2019**

PEDIDO DE PARECER DE IMPORTAÇÃO DE SEMENTES DE ESPÉCIES AGRÍCOLAS E HORTÍCOLAS

I - IMPORTADOR

Nome: **Maria Eugenia Santos Nunes**

Telef.: **96-836-4141** e-mail: **enunes@fc.up.pt** NIF: **220034117**

Despachante Oficial

Nome: _____

Telef.: _____ e-mail: _____

Posto alfandegário: _____

II - LOTES DE SEMENTE A IMPORTAR

1 - Os lotes de semente destinam-se a:

Uso comercial ou profissional ☐
 Uso amador ☐
 Estudos de natureza científica ou trabalhos de selecção ☒
 Exportação para países terceiros ☐

2 - País exportador: **Moçambique** **3 - País produtor:** **Moçambique**

4 - Identificação dos lotes de semente

Espécie (s) Agrícola ☒ Hortícola ☐

Misturas de espécies: - uso forrageiro ☐
 - outra utilização ☐ Qual: _____

SEDE: CAMPO GRANDE, 64 - 1700-093 LISBOA TELEF. 21 323 95 00 FAX. 21 323 96 01

2017-07-14 1 / 3

5 – Informações sobre os lotes de sementes

[illegible]

- a) No caso de misturas anexar informação sobre a sua composição (espécies e variedades) por lote
b) Caso a variedade seja geneticamente modificada (VGM) indicar o OGM e o respectivo identificador único
c) Semente produzida segundo o modo de produção biológico



REPÚBLICA
PORTUGUESA

SECRETARIA DE AGRICULTURA
E PESQUISA



N.º 014/2019

III – DOCUMENTOS QUE ACOMPANHAM OS LOTES DE SEMENTES

1 – As embalagens das sementes, de cada lote, são portadoras de:

Etiqueta de certificação OCDE ☐
Etiqueta de certificação UE ☐
Etiqueta do Produtor ☐
Outro tipo de Etiqueta ☐ Qual?

2 – Cada lote de sementes de espécies agrícolas e hortícolas é acompanhado de:

Boletim de análise de sementes ISTA Sim ☐ Não ☐
Boletim de análise de sementes AOSA/USDA Sim ☐ Não ☐
Boletim de análise de sementes emitido por:

3 – Cada lote de sementes é acompanhado de Certificado Fitossanitário?

Sim ☒ Não ☐

Observações:

Departamento Provincial de Agricultura e Segurança Alimentar de Maputo
(DPASAM)

Assinatura:

Maria Ey Saul Njun

Data: 15 de fevereiro de 2019



secDVS@dgav.pt

PARECER DA DGAV

De acordo com as normas definidas no Decreto-lei n.º 42/2017 de 6 de abril, a importação das espécies e variedades constantes no n.º 5 do ponto II do presente pedido,

É autorizada ☒ Não é autorizada (ver observações) ☐

Observações:



TERESA
MARIA PAIS
NOGUEIRA
COELHO

Assinado de forma
digital em nome da
MARIA PAIS
NOGUEIRA COELHO
Dados: 2019.02.15
10:39:21 Z

SEDE : CAMPO GRANDE, 58 - 1700-093 LISBOA TELEF. 21 323 95 00 FAX. 21 323 95 01

2017-07-14

3 / 3

1.  REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E SEGURANÇA ALIMENTAR DIRECÇÃO NACIONAL DE AGRICULTURA E SILVICULTURA		2. CERTIFICADO FITOSSANITÁRIO PHITOSANITARY CERTIFICATE ORIGINAL Nº.1205/PIFM/2019	
3. De Departamento de Sanidade Vegetal para: To Plant Protection Organization (s) of: PORTUGAL		4. Nome e endereço do exportador Name and address of exporter PEDRO ANTÓNIO AH SHENGA MAPUTO MOÇAMBIQUE	
5. Nome e endereço do consignatário Name and address of consignee UNIVERSIDADE DE PORTO MARIA EUGÉNIA SANTOS NUNES PORTO- PORTUGAL		6. Lugar de origem Place of origin MOÇAMBIQUE	
		7. Meio de transporte Means of conveyance Aereo	
		8. Ponto de entrada Point of entry "Francisco Sá Carneiro Airport"	
9. Marcas, números dos volumes, natureza da mercadoria, nome científico Marks, number and description of packages, name of produce, botanical name of plants "Zea Mays" SEMENTE DE MILHO/ENSAIOS.		10. Quantidade (peso) dos volumes Quantity of package "1Kg"	
11. Este serve para certificar que os vegetais ou productos vegetais acima referidos; Foram cuidadosamente inspeccionados de acordo com os procedimentos adequados, pelo Inspector GILDO DA CRUZ ALBERTO e são considerados isentos de doenças e pragas de quarentena e praticamente livres de outros inimigos, e que: são considerados nas condições exigidas pelos regulamentos fitossanitários em vigor no país importador. This is to certify that the plants, plant products or other regulated articles, described herein have been inspected and/or tested according to appropriate official procedures and are considered to be free from the quarantine pests specified by the importing contracting party and to conform to the current phytosanitary requirements of the importing contracting party, including those for regulated non-quarantine pests.			
12. Declaração adicional Additional declaration "AMOSTRA"			
13. Fumigação ou desinfeção Fumigation or disinfections xxxxxxxxxxxxxx		20. Local de Emissão Place of issue Maputo	
14. Tratamento Treatment xxxxxxxxxxxxxx		Data Date 05/03/2019	
15. Produto químico Chemical product xxxx	16. Duração e Temperatura Duration and temperature xxxx	Nome do funcionário autorizado Name of authorized officer Gildo da Cruz Alberto	
17. Concentração Concentration xxxxxxxxxxxxxx	18. Data Date xxxxxxxxxx	Assinatura Signature	
19. Informação adicional Additional information		Selo Stamp 	

00001